

TUGAS AKHIR TERAPAN- RC146599

**DESAIN STRUKTUR DAN METODE
PELAKSANAAN GEDUNG *TWIN TOWER*
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK
DAN PELAT PRACETAK**

**KHOLIF NOVIANTI
NRP. 3116 040 515**

**DOSEN PEMBIMBING
NUR ACHMAD HUSIN, ST.MT.
NIP. 19720115 199802 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR TERAPAN- RC146599

**DESAIN STRUKTUR DAN METODE
PELAKSANAAN GEDUNG *TWIN TOWER*
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK
DAN PELAT PRACETAK**

**KHOLIF NOVIANTI
NRP. 3116 040 515**

**DOSEN PEMBIMBING
NUR ACHMAD HUSIN, ST.MT.
NIP. 19720115 199802 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



APPLIED FINAL PROJECT - RC146599

**STRUCTURAL DESIGN AND METHOD OF TWIN
TOWER BUILDING SUNAN AMPEL ISLAMIC
STATE UNIVERSITY SURABAYA USING
PRECAST BEAM AND PLATE**

**KHOLIF NOVIANTI
NRP. 3116 040 515**

**ACADEMIC SUPERVISOR:
NUR ACHMAD HUSIN, ST.MT.
NIP. 19720115 199802 1 001**

**DIPLOMA IV PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING IN ADVANCED
(EXTENDED) LEVEL
DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCASIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR TERAPAN**

**“DESAIN STRUKTUR DAN METODE PELAKSANAAN
GEDUNG *TWIN TOWER* UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN AMPEL SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
BALOK DAN PELAT PRACETAK”**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada
Program Studi Diploma IV Lanjut Jenjang Teknik Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi**

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Disusun oleh:

MAHASISWA

KHOLIF NOVIANTI.
NRP. 3116 040 515

Disetujui Oleh:

DOSEN PEMBIMBING



20 JUL 2017

NUR ACHMAD HUSIN, ST.,MT.
NRP. 19720115 199802 1 001

**“DESAIN STRUKTUR DAN METODE PELAKSANAAN
GEDUNG *TWIN TOWER* UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN AMPEL SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN
BALOK DAN PELAT PRACETAK”**

Dosen Pembimbing : Nur Achmad Husin, ST, MT

NIP : 19720115 199802 1 001

Mahasiswa : Kholif Novianti

3116 040 515

Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil

ABSTRAK

Gedung *Twin Tower* Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya berada di Jalan Achmad Yani, Jemursari, Surabaya. Bangunan existing terdiri dari 9 lantai dengan menggunakan beton cast in situ. Bangunan akan direncanakan menggunakan balok dan pelat pracetak. Perancangan berdasarkan Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013). Perencanaan struktur pracetak mengacu Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung (SNI 7833-2012) dan PCI Design Handbook *Precast & Prestressed Concrete* 7th Edition. Untuk desain gempa berdasarkan pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2012). Dalam perencanaan ini, tahapan perencanaan dimulai dari menentukan data-data dasar perencanaan dan pembebanan struktur. Pembebanan ditentukan berdasarkan fungsi bangunan gedung tiap lantai berdasarkan Beban Minimum untuk

Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 03-1727-2013), serta peraturan penunjang lainnya yang berlaku di Indonesia. Hasil perhitungan berupa penulangan beton struktur utama kolom dan pondasi dengan beton bertulang dan balok menggunakan beton pracetak. Struktur sekunder berupa pelat pracetak dan tangga yang kemudian dituangkan dalam bentuk gambar teknik.

Dari hasil perhitungan, dimensi struktur atas terdiri dari pelat lantai pracetak tebal 8 cm dan cast in situ 4 cm, dimensi balok anak pracetak 30 x 38 cm dan balok anak komposit 30x50cm, dimensi balok induk pracetak 40x48 cm dan balok induk komposit 40x60 cm, dimensi kolom 75 cm x 75 cm.

Kata kunci: beton pracetak, sistem rangka pemikul momen khusus

**“STRUCTURAL DESIGN AND METHOD OF TWIN
TOWER BUILDING SUNAN AMPEL ISLAMIC STATE
UNIVERSITY SURABAYA USING PRECAST BEAM AND
PLATE”**

Academic Supervisor : Nur Achmad Husin, ST, MT

NIP : 19720115 199802 1 001

Student : Kholif Novianti

3116 040 515

Departement : Civil Infrastructure Engineering

ABSTRACT

Twin Tower Building Sunan Ampel Islamic State University Surabaya is located at Jalan Achmad Yani, Jemursari, Surabaya. The existing building consisted of 10 floors using cast in situ concrete. Buildings will be planned using precast beams and plates. Design based on Structural Concrete Requirements for Building (SNI 03-2847-2013). Precast structural planning refers to the Procedures for Designing Precast Concrete and Prestressed Concrete for Building Buildings (SNI 7833-2012) and PCI Design Handbook Precast & Prestressed Concrete 7th Edition. The earthquake design based on Earthquake Resistance Planning Procedure for Building Structure and Non Building (SNI 03-1726-2012). The planning stage starts from determining the basic data of planning and loading. Loading is determined based on Minimum Expense for Building Design and Other Structures (SNI 03-1727-2013), and other supporting regulations applicable in Indonesia. The calculation result consist of main structure of columns and foundation with reinforced cast in situ concrete and Beam using precast concrete. Secondary structures

in the form of precast plates and stairs. The calculation are then poured in the form of engineering drawings.

From the calculation, the upper structure dimension consists of floor plate with 8 cm precast and 4 cm cast in situ concrete, the dimension of the secondary beam 30x38cm precast and 30x50cm composite , the dimension of the primary beam 40x48cm precast and 40x60cm composite ., the column dimension 75 cm x 75 cm.

Keywords: precast concrete, special moment resisting frame system

KATA PENGANTAR

Puji syukur terpanjatkan kehadiran Allah S.W.T. atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad S.A.W. sehingga proposal tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Tersusunnya tugas akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Untuk itu begitu banyak ucapan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta ,sebagai semangat, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil, terutama doa.
2. Bapak Dr. Machsus, ST.MT, selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
3. Bapak FX Didik. H CES selaku dosen wali.
4. Bapak Nur Achmad Husin ,ST.,MT. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan proyek akhir ini.
5. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih atas bantuan dan saran selama proses pengerjaan proyek akhir ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu diharapkan terdapat kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proposal tugas akhir ini.

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	5
2.2 Beton Pracetak.....	8
2.2.1 Desain Komponen Struktur pracetak.....	9
2.2.2 Desain Sambungan dan Tumpuan Beton Pracetak	9
2.3 Metode Pelaksanaan Beton Pracetak	13
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Pengumpulan Data.....	17

3.2 Perencanaan Struktur Keseluruhan.....	18
3.2.1 Preliminary Design.....	18
3.2.2 Analisa Pembebanan Struktur	18
3.2.3 Permodelan Struktur.....	20
3.2.4 Analisa Gaya Dalam.....	20
3.2.5 Perhitungan Struktur dan Penulangan	21
3.3 Perencanaan Struktur Pracetak.....	22
3.3.1 Pemilihan tipe komponen pracetak	22
3.3.2 Desain saat pengangkatan	23
3.3.3 Desain saat pelaksanaan	25
3.3.4 Desain Sambungan	26
3.3.5 Penulangan Pracetak.....	27
3.4 Kontrol Persyaratan.....	27
3.5 Gambar Perencanaan.....	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Perencanaan Dimensi Struktur	29
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok.....	29
4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom	32
4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat	33
4.3 Pembebanan Struktur	43
4.3.1 Pembebanan Pelat.....	43
4.3.2 Pembebanan Tangga.....	43
4.3.3 Pembebanan Dinding	44
4.3.4 Pembebanan Angin.....	45

4.3.5 Pembebanan Gempa	48
4.3.6 Periksa Dilatasi Bangunan.....	58
4.4 Perhitungan Struktur Sekunder.....	61
4.4.1 Perhitungan Penulangan Pelat	61
4.4.2 Perencanaan Balok Anak.....	83
4.4.3 Perhitungan Penulangan Balok lift	147
4.4.3 Perhitungan Penulangan Tangga	156
4.4.4 Perhitungan penulangan Pelat Bordes	160
4.5 Perhitungan Struktur Utama	164
4.5.1 Perhitungan Balok Induk	164
4.5.2 Perhitungan Kolom.....	216
4.5.2 .1 Cek syarat komponen struktur penahan gempa	217
4.5.2.3 Cek Kuat Kolom (Strong column weak beam).....	238
4.5.2.4 Desain Tulangan Confinement	241
4.5.2.5 Desain Tulangan Geser.....	243
4.5.3 Hubungan Balok dan Kolom	245
4.5.5 Perhitungan Penulangan Sloof (40/80).....	248
4.5.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur.....	248
4.5.5 Perhitungan Sambungan	259
4.5.4.1 Sambungan Kolom- Balok Induk	259
4.5.5.2 Sambungan Balok Induk- Balok Anak	269
4.5.5.3 Sambungan Pelat- beton cor in situ	275
4.5.5.4 Sambungan Pelat- Pelat	277
4.5.6 Perencanaan Pondasi	281

4.5.6 Perhitungan Pondasi	283
4.6 Metode Pelaksanaan	293
4.6.1 Penempatan Tower Crane	293
4.6.2 Pemasangan Balok Induk	295
4.6.3 Pemasangan Balok Anak	296
4.6.4 Pemasangan Pelat	296
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	298
5.1 Kesimpulan.....	299
5.2 Saran.....	301
DAFTAR PUSTAKA.....	303

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Parameter percepatan gempa S_s dan S_1 (Peta Hazard Indonesia 2010)	7
Gambar 2. 2 Mekanisme keruntuhan struktur rangka yang ideal (Fery Son, Damar dan Herman, 2008)	8
Gambar 2. 4 Sambungan Balok Pracetak dengan pelat pracetak (Hendrawan Wahyudi, 2010)	10
Gambar 2. 5 Tumpuan Pelat pracetak dengan Balok Pracetak (Hery Dwi .A, 2010).....	12
Gambar 2. 6 Tumpuan Balok Pracetak dengan kolom <i>Cast in place</i>	13
Gambar 2. 7 Pengangkatan Pelat Pracetak (PCI Design Handbook Fig. 8.3.2)	14
 Gambar 3. 1 Bentuk Angkur Pengangkatan dan Bidang Geser Kritis	22
Gambar 3. 2 Penentuan balok Pracetak	23
Gambar 3. 3 Denah gedung twin tower uinsa (Gedung A dan B direncanakan dengan balok dan pelat pracetaka.....	25
 Gambar 4. 1 Denah Perencanaan Pembalokan	30
Gambar 4. 2 Pelat yang ditinjau	34
Gambar 4. 3 Balok B1 As A' (30/50).....	36
Gambar 4. 4 Balok B1 As 1' (30/50).....	37
Gambar 4. 5 Balok B1 As A (40/60)	39
Gambar 4. 6 Balok B1 As 1 (40/60).....	40
Gambar 4. 7 Pembebanan Angin Pada Bangunan (SNI 1727-2013).....	47
Gambar 4. 8 Input Respon Spektrum pada SAP	48

Gambar 4. 9 Input Load Case Gempa X dan Gempa Y	49
Gambar 4. 10 Form Analisa Modal.....	50
Gambar 4. 11 Penentuan Simpangan antar Lantai	53
Gambar 4. 12 Kontrol Dilatasi	59
Gambar 4. 13 posisi titik angkat (PCI Design handbook 7 th edition fig 8.3.2).....	66
Gambar 4. 14 Denah Pembalokan.....	85
Gambar 4. 15 Momen tumpuan kanan akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	85
Gambar 4. 16 Momen tumpuan kiri akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	85
Gambar 4. 17 Momen lapangan akibat kombinasi (1,2 D+1,6 L)	86
Gambar 4. 18 Geser maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	86
Gambar 4. 19 Torsi maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	86
Gambar 4. 20 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMK	107
Gambar 4. 21 Geser balok akibat kombinasi 1,2 D+ 1 L	109
Gambar 4. 22 Balok Anak Pracetak	116
Gambar 4. 23 Balok Anak setelah komposit	117
Gambar 4. 24 Momen tumpuan kanan akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	167
Gambar 4. 25 Momen tumpuan kiri akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	167
Gambar 4. 26 Momen lapangan akibat kombinasi (1,2 D+1,6 L)	167
Gambar 4. 27 Geser maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	167
Gambar 4. 28 Torsi maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)	168

Gambar 4. 29 Denah Pembalokan	168
Gambar 4. 30 Luasan Acp dan Aoh	169
Gambar 4. 31 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMK	194
Gambar 4. 32 Geser balok akibat kombinasi 1,2 D+ 1 L	195
Gambar 4. 33 Kolom yang ditinjau (AS B)	216
Gambar 4. 34 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMK	251
Gambar 4. 35 Geser balok akibat kombinasi 1,2 D+ 1 L	252
Gambar 4. 36 Rencana tulangan pada balok Induk	265
Gambar 4. 37 Rencana tulangan pada balok Induk	273
Gambar 4. 38 Sambungan Pelat-Pelat	278
Gambar 4. 39 Pemasangan Balok Induk Pracetak.....	295
Gambar 4. 40 Pemasangan Balok Anak Pracetak	296
Gambar 4. 41 Pemasangan Tulangan Atas Pelat.....	297

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Dimensi Balok Induk	31
Tabel 4. 2 Dimensi Balok Anak	32
Tabel 4. 3 Dimensi Kolom	33
Tabel 4. 4 Modal Participation Ratio	51
Tabel 4. 5 Modal Periods and Frequencies	51
Tabel 4. 6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2012, Tabel 14)	52
Tabel 4. 7 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung (SNI 1726-2012, Tabel 15)	52
Tabel 4. 8 Simpangan Ijin antar Lantai, Δ_a (SNI 1726-2012, Tabel 16)	54
Tabel 4. 9 Simpangan antar lantai akibat gempa X	54
Tabel 4. 10 Simpangan Antar Lantai akibat gempa Y	54
Tabel 4. 11 Base Reaction	57
Tabel 4. 12 δ_{max1} pada Bangunan 1	59
Tabel 4. 13 δ_{max2} pada Bangunan 3	59
Tabel 4. 14 δ_{max1} pada Bangunan 2	60
Tabel 4. 15 δ_{max2} pada Bangunan 3	60
Tabel 4. 16 Mpr balok dari luasan tulangan tumpuan kiri dan kanan	108
Tabel 4. 17 Mpr balok dari luasan tulangan tumpuan kiri dan kanan	195
Tabel 4. 18 Mpr balok dari luasan tulangan tumpuan kiri dan kanan	252
Tabel 4. 15 Berat Balok Pracetak	294
Tabel 4. 16 Berat Pelat Pracetak	294

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi konstruksi beton mengharuskan para praktisi untuk mencari sistem struktur dan metode yang tepat berdasarkan peraturan yang berlaku. Sistem struktur yang digunakan dalam beton bertulang diantaranya adalah Sistem Rangka Penahan Momen (SRPM), Sistem Dinding Struktural (SDS), dan Sistem Ganda. SRPM adalah sistem rangka ruang dimana komponen balok, kolom dan jointnya menahan gaya-gaya yang bekerja. SDS adalah dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi gaya geser, momen dan aksial serta sistem ganda menggabungkan SRPM dan SDS (**Iswandi Imran dan Fajar Hendrik, 2014**). Sedangkan metode pelaksanaan dalam yang tepat harus memenuhi target mutu, biaya dan waktu yang direncanakan (**Wulfram. I. Ervianto, 2006**).

Biaya konstruksi akhir-akhir ini menunjukkan peningkatan yang disebabkan oleh tingginya upah tenaga lapangan dan proses konstruksi secara konvensional. Komposisi biaya untuk pembayaran upah kurang lebih sebesar 35% dari total biaya proyek, sisanya untuk keperluan material, alat, overhead dan lainnya. (**Winter & Nilson, 1979**). Dari segi mutu berdasarkan studi Wulfram. I. Ervianto menyatakan bahwa industri jasa cenderung menyebabkan kontrol kualitas yang sulit dilakukan dibandingkan industri manufaktur. Sehingga untuk mengurangi pembayaran upah dan melakukan kontrol kualitas yang lebih baik, salah satunya adalah menggunakan beton pracetak.

Beton pracetak memiliki keunggulan antara lain tidak membutuhkan pekerja yang banyak, tidak memerlukan bekisting, tidak membutuhkan tempat menyimpan material yang luas, dan proses produksi tidak tergantung pada cuaca. (**Wulfram. I. Ervianto, 2006**). Soetjipto pada tahun 2004 melakukan

penelitian bahwa beton pracetak efektif digunakan jika volume pekerjaan beton lebih besar $\pm 1900 \text{ m}^3$ atau termasuk bangunan bertingkat tinggi. Hansson B. pada tahun 1996 melakukan perbandingan bangunan hotel dengan tipe denah identik menggunakan beton pracetak dan cast in situ. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi waktu dengan beton pracetak mencapai 50 % dibanding beton cast in situ.

Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan dibahas desain struktur dan metode pelaksanaan Proyek Pembangunan Twin Tower UINSA Surabaya dengan menggunakan balok dan pelat pracetak. Pembangunan existing gedung Twin Tower semula menggunakan beton *cast in situ*. Gedung terletak di Jalan Ahmad Yani No.117, Jemursari, Surabaya dengan jumlah lantai sebanyak 11 lantai dan tinggi bangunan 38 m. Gedung ini terdiri dari 3 bagian yaitu Tower A, Tower B dan *Connection building*. Tower A dan B merupakan bangunan identik dengan jumlah lantai 9, sedangkan *connection building* berada diantara tower A dan B dengan jumlah lantai 4.

Dalam perencanaan struktur, juga diperlukan pemilihan sistem struktur yang akan digunakan sesuai dengan SNI 1726-2012. Berdasarkan data tanah lunak dan analisa gempa, gedung Twin tower termasuk dalam KDS D sehingga menggunakan Sistem Struktur SRPMK dan . Peraturan yang dipakai dalam desain struktur ini diantaranya, desain gempa sesuai dengan SNI 1726-2012 dengan menggunakan probabilitas terlewat 2 persen dalam 50 tahun atau dengan periode ulang 2500 tahun. Perhitungan penulangan beton berdasarkan SNI beton 03-2847-2013, SNI 03-7833-2012 tentang beton pracetak dan pretegangan, serta *PCI design handbook precast and prestressed concrete*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dihadapi dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana merencanakan tipe balok precast pada Gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA)
2. Bagaimana merencanakan tipe pelat precast pada Gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA)
3. Bagaimanakah merencanakan tipe sambungan balok precast dengan pelat precast
4. Bagaimanakah merencanakan tipe sambungan balok induk dengan balok anak
5. Bagaimanakah merencanakan tipe sambungan balok precast dengan kolom *cast in situ*
6. Bagaimanakah metode pelaksanaan yang digunakan dalam pekerjaan balok dan pelat *precast*
7. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik.

1.3 Tujuan

Perencanaan struktur gedung Twin Tower UINSA mempunyai tujuan diantaranya adalah:

1. Merencanakan tipe balok precast pada Gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA).
2. Merencanakan tipe pelat precast pada Gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA).
3. Merencanakan tipe sambungan balok precast dengan pelat precast.
4. Merencanakan tipe sambungan balok induk dengan balok anak.
5. Merencanakan tipe sambungan balok precast dengan kolom *cast in situ*.
6. Dapat merencanakan metode pelaksanaan yang digunakan dalam pekerjaan balok dan pelat *precast*.
7. Dapat menuangkan hasil perhitungan ke dalam gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah

1. Perhitungan beban gempa yang bekerja menggunakan perhitungan respon spectrum
2. Struktur yang menggunakan beton pracetak adalah pelat dan balok pada gedung tower A dan Tower B.
3. Perencanaan ini hanya membahas struktur dan metode pelaksanaan pelat dan balok pracetak, dan tidak membahas manajemen konstruksi, analisis biaya maupun segi arsitektural lainnya
4. Perhitungan hanya meninjau dua portal, portal memanjang dan melintang

1.5 Manfaat

Manfaat dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah

1. Untuk mendapatkan suatu perencanaan bangunan gedung pracetak yang mampu menahan gempa di Surabaya
2. Untuk menerapkan semua ilmu yang berkaitan dengan teori dan perencanaan struktur yang diperoleh selama bangku kuliah dengan data yang ada di lapangan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Di dalam tinjauan pustaka berikut ini akan dijelaskan mengenai teori yang digunakan dalam Desain Struktur dan Metode Pelaksanaan gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya (UINSA) menggunakan balok dan pelat *precast* agar dapat memenuhi kriteria kekuatan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Sistem struktur yang digunakan dalam perencanaan ini adalah dual sistem (SRPMK) dan dinding geser.

Peraturan terkait yang digunakan dalam perhitungan struktur Gedung Fakultas Tarbiyah UINSA ini adalah :

1. SNI 7833-2012 Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung.
2. PCI Design Handbook *Precast & Prestressed Concrete* 7th Edition.
3. SNI 03-2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
4. SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung dan Non Gedung.
5. SNI 03-1729-2015 tentang Persyaratan Baja Struktural Untuk Bangunan Gedung.
6. SNI 03-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

2.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Berdasarkan SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, ada beberapa sistem struktur yang dapat diterapkan dalam bangunan untuk menahan gempa, salah satunya adalah Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM). Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang

pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur. Di dalam SRPM ini dibagi menjadi 3 jenis yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik A dan B, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMK) yang digunakan untuk Kategori Desain Seismik C, dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk Kategori Desain Seismik D atau E.

Prosedur penentuan KDS ditentukan berdasarkan klasifikasi situs dan penentuan parameter percepatan gempa. Dalam SNI 1726-2012, situs diklasifikasikan menjadi SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus). Klasifikasi situs dilakukan berdasarkan data tanah spesifik kedalaman 30 m. Parameter percepatan gempa yang berupa S_s dan S_1 ditentukan dari peta resiko gempa Indonesia berdasarkan lokasi dan gempa rencana periode 2500 tahun. Berikut ini adalah parameter percepatan pada lokasi Surabaya.

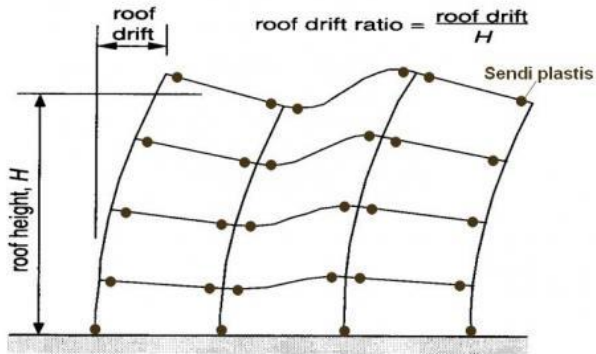


KETERANGAN :

Respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar S_B untuk probabilitas terlampaui 2 % dalam 50 tahun (redaman 5%)									
<0.05 g	0.1-0.15 g	0.2-0.25 g	0.3-0.4 g	0.5-0.6 g	0.7-0.8 g	0.9-1.0 g	1.2-1.5 g	2.0-2.5 g	>2.5 g
0.05-0.1 g	0.15-0.2 g	0.25-0.3 g	0.4-0.5 g	0.6-0.7 g	0.8-0.9 g	1.0-1.2 g	1.5-2.0 g		

Gambar 2. 1 Parameter percepatan gempa S_s dan S_1 (Peta Hazard Indonesia 2010)

Pada struktur gedung dengan sistem rangka pemikul momen khusus harus didesain memenuhi syarat “*Strong Column Weak Beam*”, yang artinya ketika menerima pengaruh gempa hanya boleh terjadi sendi plastis di ujung-ujung balok dan kaki kolom. Hal ini disebabkan keruntuhan pada balok pada dasarnya menghasilkan perilaku yang lebih duktail dibandingkan keruntuhan kolom (Iswandi Imran dan Fajar Hendrik, 2014). Mekanisme keruntuhan ideal dapat dilihat pada Gambar 2.2 :



Gambar 2. 2 Mekanisme keruntuhan struktur rangka yang ideal
(Fery Son, Damar dan Herman, 2008)

2.2 Beton Pracetak

Beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus. SNI 03-2847-2013 mendefinisikan beton pracetak sebagai komponen beton yang dicetak di tempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur. Struktur dan komponen pracetak harus direncanakan memenuhi ketentuan kekuatan, lendutan, keteguhan join dan kemudahan dalam proses pabrifikasi dan ereksi, sebagai berikut :

1. Perencanaan komponen struktur beton pracetak harus mempertimbangkan semua kondisi pembebanan dan kendala mulai dari saat pabrifikasi awal, hingga selesainya pelaksanaan struktur, termasuk pelepasan cetakan, penyimpanan, pengangkutan, dan ereksi.
2. Dalam konstruksi beton pracetak yang tidak berperilaku secara monolit, pengaruh pada semua detail sambungan dan pertemuan harus dipertimbangkan untuk menjamin tercapainya penampilan yang baik dari sistem struktur.

3. Pengaruh dari lendutan awal dan lendutan jangka panjang harus dipertimbangkan, termasuk pengaruh dari komponen struktur lain yang saling berhubungan.
4. Perencanaan dari join dan tumpuan harus mencakup pengaruh dari semua gaya yang akan disalurkan termasuk susut, rangkai, suhu, deformasi elastis, angin dan gempa.
5. Semua detail harus direncanakan agar mempunyai toleransi yang cukup terhadap proses pabriikasi dan ereksi dan terhadap tegangan sementara yang terjadi pada saat ereksi.

2.2.1 Desain Komponen Struktur pracetak

Pada lantai pracetak dan pelat atap satu arah dan pada pracetak satu arah, panel dinding prategang satu arah yang semuanya tidak lebih lebar dari 3,7 m, dan di mana komponen struktur tidak disambungkan secara mekanis yang menyebabkan kekangan dalam arah transversal, persyaratan tulangan susut dan temperatur dari 7.12 dalam arah tegak lurus tulangan lentur boleh diabaikan. Pengabaian ini tidak berlaku untuk komponen struktur yang memerlukan tulangan untuk menahan tegangan lentur transversal.

2.2.2 Desain Sambungan dan Tumpuan Beton Pracetak

1. Desain Sambungan

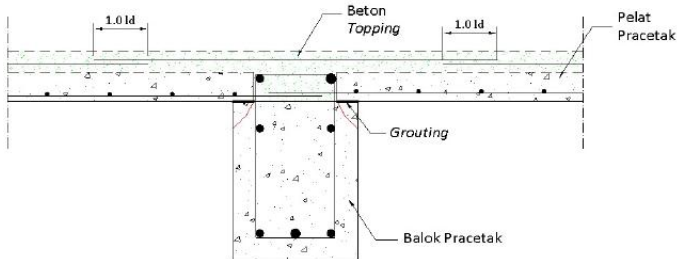
Sambungan pada elemen pracetak merupakan bagian yang sangat penting fungsi mentransfer gaya-gaya antar elemen pracetak yang disambung. Gaya-gaya boleh disalurkan antara komponen struktur dengan joint yang digROUT, kunci geser, konektor mekanis, sambungan baja tulangan, topping bertulang, atau kombinasi dari cara-cara tersebut. Kemampuan sambungan untuk menyalurkan gaya-gaya antara komponen struktur harus ditentukan dengan analisis atau dengan pengujian. Bila desain sambungan menggunakan material dengan sifat struktural yang berbeda, maka kekakuan, kekuatan, dan daktilitas relatifnya harus

diperhitungkan. Jenis sambungan diantaranya sambungan pelat-balok dan sambungan balok-balok

a. Sambungan Pelat Pracetak dengan Balok Pracetak

Untuk menghasilkan sambungan yang bersifat kaku, monolit, dan terintegrasi pada elemen-elemen ini, maka harus dipastikan gaya-gaya yang bekerja pada plat pracetak tersalurkan pada elemen balok. Hal ini dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

- Kombinasi dengan beton cor di tempat (*topping*), dimana permukaan plat pracetak dan beton pracetak dikasarkan.
- Pendetailan tulangan sambungan yang dihubungkan atau diikat secara efektif menjadi satu kesatuan.
- *Grouting* pada tumpuan atau bidang kontak antara plat pracetak dengan balok pracetak.



Gambar 2. 3 Sambungan Balok Pracetak dengan pelat pracetak (Hendrawan Wahyudi, 2010)

b. Sambungan Antar Balok Pracetak

Sambungan antara balok pracetak dengan kolom harus bersifat kaku atau monolit. Oleh sebab itu pada sambungan elemen pracetak ini harus direncanakan sedemikian rupa sehingga memiliki kekakuan yang sama dengan beton cor di tempat. Sambungan antar balok pracetak disambung oleh tulangan tarik pokok atas yang memanjang menghubungkan antar balok.

2. Desain Tumpuan

Desain tumpuan elemen *precast* harus direncanakan agar beton mampu menahan beban dari elemen pracetak maupun beban pelaksanaan dengan ketentuan sesuai SNI 7833-2012 sebagai berikut

- Tegangan tumpu ijin di permukaan kontak antara komponen yang didukung dan yang mendukung dan antara masing-masing elemen-elemen pendukung menengah tidak boleh melebihi kekuatan tumpu untuk permukaan dan elemen pendukung, atau keduanya.
- Kekuatan tumpu desain beton tidak boleh melebihi $(\phi 0,85 f'c A_1)$, kecuali bila permukaan pendukung lebih lebar pada semua sisi dari luas yang dibebani, maka kekuatan tumpu desain dari luas yang dibebani diijinkan dikalikan dengan $\sqrt{A_2/A_1}$ tetapi tidak boleh melebihi 2
- Setiap komponen struktur dan sistem pendukungnya harus mempunyai dimensi desain yang dipilih sedemikian hingga setelah memperhitungkan toleransi, jarak dari tepi tumpuan ke ujung komponen struktur pracetak pada arah bentang sedikitnya $L_n/180$, tetapi tidak boleh kurang dari:
 Untuk pelat masif atau berongga..... 50 mm
 Untuk balok atau komponen struktur tertahan 75 mm
- Sekurang-kurangnya sepertiga tulangan momen positif komponen struktur sederhana dan seperempat tulangan momen positif pada komponen struktur menerus harus diteruskan sepanjang muka komponen struktur yang sama masuk kedalam pendukung. Pada balok, tulangan semacam itu harus diteruskan masuk kedalam pendukung sekurang-kurangnya 150 mm.
- Toleransi untuk penempatan pembengkokan longitudinal dan ujung tulangan harus diambil sebesar ± 50 mm, kecuali toleransi untuk ujung-ujung yang tidak menerus dari konsol pendek dan konsol diambil sebesar ± 13 mm,

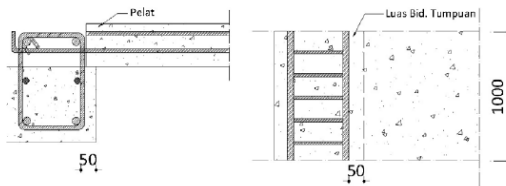
dan untuk ujung-ujung komponen struktur lainnya yang tidak menerus diambil sebesar ± 25 mm.

- Toleransi untuk d dan untuk selimut beton pada komponen struktur lentur, dinding, dan komponen struktur tekan harus sesuai Tabel 1.

	Toleransi pada d	Toleransi pada selimut beton yang disyaratkan
$d \leq 200$ mm	± 10 mm	- 10 mm
$d > 200$ mm	± 13 mm	- 13 mm

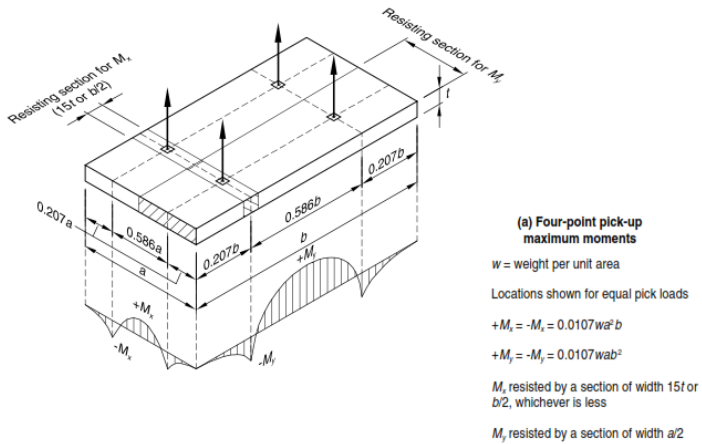
Desain tumpuan diantaranya meliputi pelat pracetak yang ditumpu oleh balok pracetak dan balok pracetak ditumpu oleh kolom *cast in place*.

- a. Tumpuan Pelat Pracetak dengan Balok Pracetak



Gambar 2. 4 Tumpuan Pelat pracetak dengan Balok Pracetak
(Hery Dwi .A, 2010)

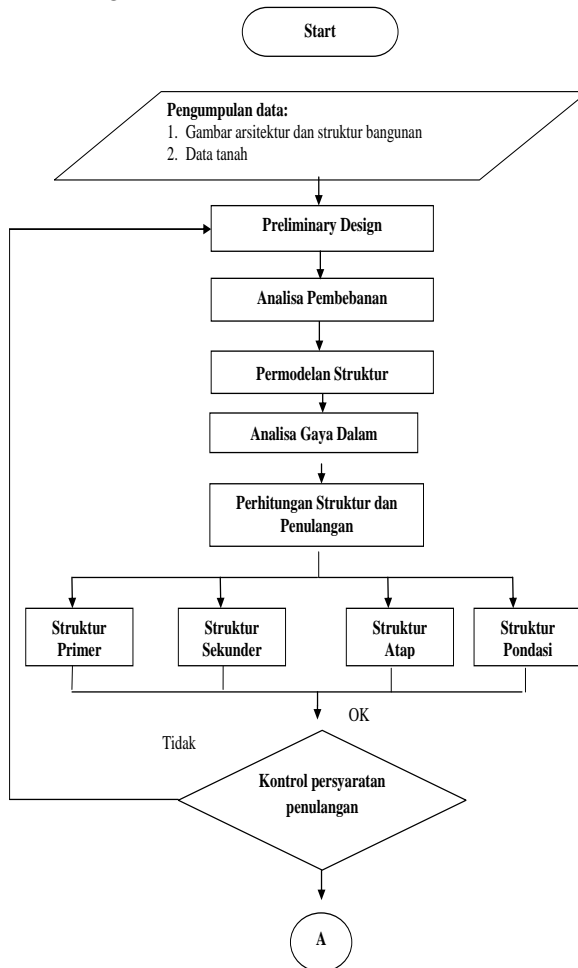
- b. Tumpuan Balok Pracetak dengan Kolom *Cast in Place*

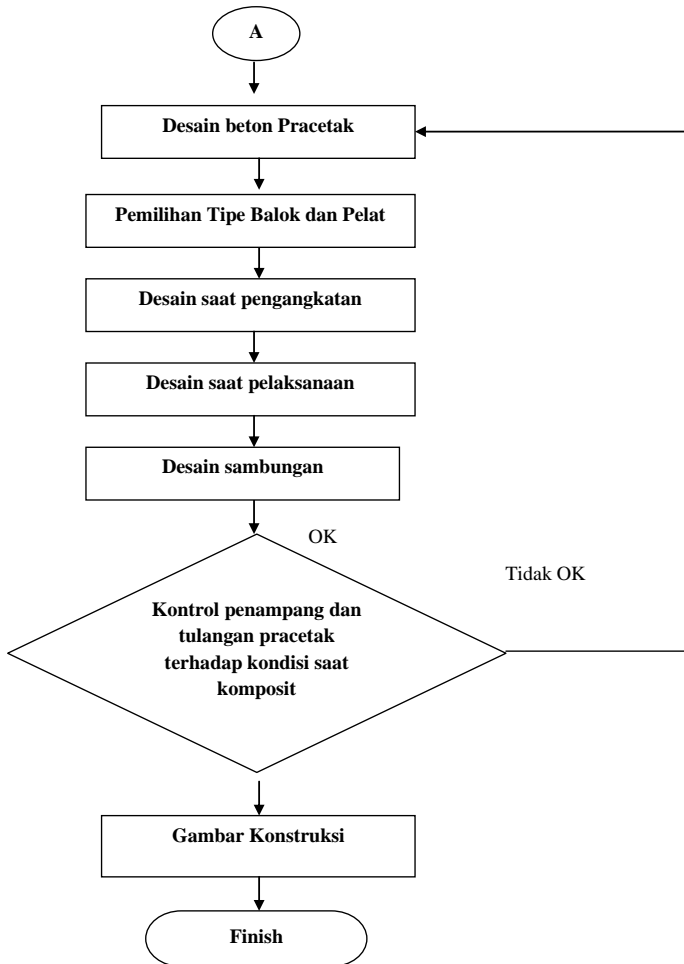


Gambar 2. 6 Pengangkatan Pelat Pracetak (PCI Design Handbook Fig. 8.3.2)

BAB III METODOLOGI

Metodologi dalam Perencanaan Struktur Gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya (UINSA) dengan menggunakan balok dan pelat *precast* adalah mengikuti bagan alur sebagai berikut:





3.1 Pengumpulan Data

Data perencanaan meliputi :

1. Data Bangunan

Nama Bangunan	: Gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya (UINSA)
Lokasi Bangunan	: Jalan Ahmad Yani No.117, Surabaya, Jawa Timur
Tinggi Bangunan	: Tower A dan B = ± 40 m C building = 12 m
Konstruksi Atap	: dek beton
Struktur Bangunan Atas	: Balok, dan Pelat menggunakan beton <i>precast</i> Kolom menggunakan beton bertulang <i>cast in situ</i>
Struktur Bangunan Bawah	: Pondasi Tiang Pancang

2. Data Tanah

Data tanah didapatkan dari penyelidikan tanah yang dilakukan oleh laboratorium Uji Tanah Program Studi Diploma Teknik Sipil FTSP ITS. Data tanah berupa data SPT yang akan dipakai dalam perencanaan dan perhitungan pondasi tiang pancang.

3. Data Gambar

Data gambar meliputi gambar denah, gambar tampak, gambar potongan, dan gambar detail yang digunakan untuk memperjelas dimensi komponen struktur yang berasal dari proyek.

4. Data Bahan

Mutu bahan yang digunakan pada perencanaan adalah:

1. Beton :
Mutu (f_c') : 30 Mpa

Mutu Tulangan Lentur (f_y) : 400 Mpa

Mutu Tulangan Geser (f_{ys}) : 400 Mpa

3.2 Perencanaan Struktur Keseluruhan

3.2.1 Preliminary Design

Penentuan dimensi komponen struktur beton meliputi :

1. Struktur primer : balok, kolom, dan shearwall
2. Struktur sekunder : tangga, pelat lantai dan pelat atap.

3.2.2 Analisa Pembebanan Struktur

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan peraturan pembebanan.

Analisa pembebanan adalah sebagai berikut:

1. Pembebanan pada konstruksi atap
 - a. Beban Mati
Terdiri dari berat sendiri seluruh material elemen struktur atap (penutup atap, kuda-kuda, gording, dan perlengkapan tambahan pada struktur atap)
 - b. Beban Hidup
Beban pelaksanaan, beban air hujan, dan beban angin
2. Pembebanan pada plat lantai
 - Beban Penumpukan dan Pengangkatan pelat *precast*
Penumpukan pelat *precast* diperbolehkan ditumpuk sampai 4 tumpukan pelat saat umur beton 3 hari.
Pengangkatan pelat *precast* dilakukan sesuai prosedur dalam 2.2
 - Beban Pelaksanaan pelat *precast*
Beban pelaksanaan berupa beban pekerja dan berat beton basah.
 - Beban Service
Beban Mati
Terdiri dari berat sendiri plat, spesi, keramik, plafond dan penggantung, perpipaan serta instalasi listrik

Beban Hidup

Beban hidup ditentukan dalam SNI 03-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

3. Pembebanan pada tangga dan bordes
 - a. Beban Mati
Terdiri dari berat sendiri plat tangga/bordes, anak tangga, spesi, *railling hand*, dan keramik
 - b. Beban Hidup
Beban hidup ditentukan dalam SNI 03-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.
4. Pembebanan pada balok *precast*
 - Beban Penumpukan dan Pengangkatan balok *precast*
Penumpukan pelat *precast* diperbolehkan ditumpuk sampai 4 tumpukan pelat saat umur beton 3 hari.
Pengangkatan balok *precast* dilakukan sesuai prosedur dalam 2.2
 - Beban Pelaksanaan pelat *precast*
Beban pelaksanaan berupa beban pekerja dan berat beton basah.
 - Beban Service
 - a. Beban Mati
Terdiri dari berat sendiri balok dan beban dinding
5. Beban Gempa
Analisa beban gempa menggunakan perhitungan respon spektrum
6. Beban Angin
Beban angin ditentukan dalam dalam SNI 03-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Bangunan Gedung dan Non Gedung.

3.2.3 Permodelan Struktur

Pemodelan Struktur dalam perencanaan bangunan gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Surabaya (UINSA) ini menggunakan program bantu analisis struktur, dengan kriteria sebagai berikut :

1. Pemodelan di modelkan sebagai sistem Struktur open frame dimana dinding tidak dimodelkan tetapi dijadikan beban pada frame.
2. Pelat dimodelkan sebagai area section agar beban pada plat dapat terdistribusi pada balok
3. Gaya gempa dimodelkan dengan metode respon spektrum.

3.2.4 Analisa Gaya Dalam

Nilai gaya dalam diperoleh menggunakan bantuan program analisis struktur. Kombinasi yang dipakai untuk pembebanan pada program analisis struktur adalah sebagai berikut:

1. Ketahanan struktur terhadap beban hidup dan mati:
 - a. $1,4D$
 - b. $1,2D+1,6L+0,5(A \text{ atau } R)$
2. Ketahanan struktur terhadap beban angin dan dikombinasikan dengan beban hidup dan mati:
 - c. $1,2D+1,0L+1,6W+0,5(A \text{ atau } R)$
 - d. $0,9D\pm 1,6W$
3. Ketahanan struktur terhadap beban gempa yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati:
 - e. $1,2D+1,0L\pm 1,0E$
 - f. $0,9D\pm 1,0E$

Keterangan:

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

W : Beban Angin

E : Beban Gempa
 R : Beban Air Hujan

3.2.5 Perhitungan Struktur dan Penulangan

Perhitungan struktur terdiri dari perhitungan struktur bawah (pondasi), struktur primer(balok induk, kolom), struktur sekunder (balok anak, pelat), dan struktur atap.

Penulangan struktur beton (pondasi, pelat balok, kolom) dihitung berdasarkan SNI 2847–2013 dengan memperhatikan standart penulangan - penulangan serta menggunakan data - data yang diperoleh dari *output* program analisis struktur. Perhitungan penulangan dilakukan pada elemen struktur yakni : balok (ketentuan-ketentuan 21.3.4) dan kolom (ketentuan-ketentuan 21.3.5). Langkah perhitungannya secara garis besar di jelaskan sebagai berikut :

1. Dari *output* program analisis struktur diperoleh gaya geser, momen lentur, torsi dan gaya aksial
2. Perhitungan kebutuhan tulangan
3. Kontrol kemampuan dan cek persyaratan

Perhitungan komponen atap baja dihitung berdasarkan SNI 1729–2015 dengan memperhatikan syarat-syarat yang telah ditetapkan serta menggunakan data – data yang diperoleh dari *output* program analisis struktur. Langkah perhitungan secara garis besar dijelaskan sebagai berikut :

1. Penentuan profil
2. Dari *output* program analisis struktur diperoleh gaya geser, momen lentur, torsi dan gaya aksial
3. Perhitungan kebutuhan pelat buhul dan pengikat struktural (baut dan las)

4. Kontrol kemampuan dan cek persyaratan

3.3 Perencanaan Struktur Pracetak

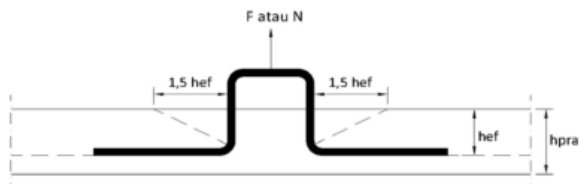
Dalam tugas akhir ini elemen struktur balok dan plat direncanakan menggunakan beton pracetak. Komponen beton pracetak tersebut harus dapat membentuk suatu kesatuan struktur yang mampu menahan momen dan gaya lateral pada struktur.

3.3.1 Pemilihan tipe komponen pracetak

a. Pelat Pracetak

Pelat pracetak direncanakan untuk mampu memikul beban saat pelaksanaan dan beban saat service (beban layan). Beban pelaksanaan terdiri dari kondisi pengangkatan dan pemasangan pada masing-masing tumpuan. Tebal pelat dan jumlah tulangan yang dipakai adalah yang terbesar diantara kedua kondisi tersebut. Pelat pracetak didesain sebagai pelat satu arah.

Penentuan tebal pelat pracetak ditentukan berdasarkan analisa tebal pelat terhadap gaya geser pons akibat beban pengangkatan yang disalurkan melalui angkur pengangkatan. Rencana bentuk angkur pengangkatan yang ditanam dalam pelat precetak adalah sebagai berikut

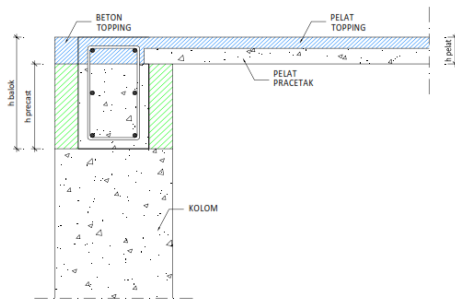


Gambar 3. 1 Bentuk Angkur Pengangkatan dan Bidang Geser Kritis

b. Balok Pracetak

Sama halnya seperti pelat pracetak, balok pracetak juga dianalisa secara menyeluruh, yaitu dianalisa dalam kondisi pelaksanaan dan dalam kondisi beban layan. Dalam proses perhitungan perencanaan elemen balok pracetak ini meliputi analisa balok pracetak saat pemasangan dan analisa balok pracetak saat pengangkatan.

Balok direncanakan dengan tipe seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. 2 Penentuan balok Pracetak

3.3.2 Desain saat pengangkatan

Pengangkatan pelat dan balok pracetak dilakukan menggunakan tower crane dengan spesifikasi sebagai berikut :

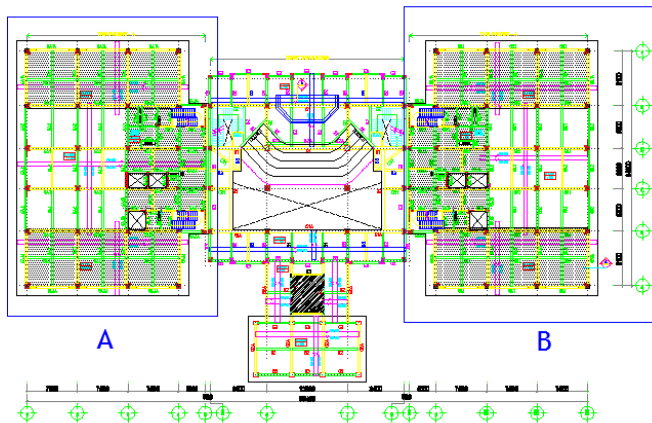
$$W = 0,3 \text{ m} \times (0,6-0,12) \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 2764,8 \text{ kg}$$

Pelat tipe 2,15 m x 8 m, dengan tebal= 8cm

$$W = 0,08 \text{ m} \times 2,15 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 3302,4 \text{ kg}$$

Jadi berat struktur memenuhi kapasitas angkat *tower crane*

Luas area konstruksi gedung twin tower adalah 83 m x 34,8 m. Oleh karena itu, digunakan satu tower crane agar dapat menjangkau seluruh area konstruksi.



Gambar 3. 3 Denah gedung twin tower uinsa (Gedung A dan B direncanakan dengan balok dan pelat pracetak)

3.3.3 Desain saat pelaksanaan

a. Desain Pelat

Analisa pelat saat pelaksanaan meliputi ketika pelat pracetak ditumpu di balok dan saat beton topping. Beban yang berkarja adalah meliputi

Beban Mati : berat sendiri pelat pracetak , beban topping saat pelaksanaan,

Beban Hidup : beban pekerja.

b. Desain Balok

Saat pemasangan, balok pracetak mengalami kondisi pembebanan sebagai berikut :

1. Berat sendiri balok pracetak, termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
2. Beban pelat pracetak yang menumpu pada balok, termasuk beton tuang di atasnya (*topping*).
3. Beban pekerja.

3.3.4 Desain Sambungan

Prinsip perencanaan sambungan pada elemen pracetak dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu:

- Sambungan kuat (*strong connection*), bila sambungan antar elemen pracetak tetap berperilaku elastis pada saat gempa kuat, sistem sambungan harus dan terbukti secara teoritis dan eksperimental memiliki kekuatan dan ketegaran yang minimal sama dengan yang dimiliki struktur sambungan beton monolit yang setara.
- Sambungan daktil (*ductile connection*), bila pada sambungan boleh terjadi deformasi inelastis, sistem sambungan harus terbukti secara teoritis dan eksperimental memenuhi persyaratan kehandalan dan kekakuan struktur tahan gempa.

Untuk memenuhi agar sambungan monolit, maka dalam SNI 7833-2012 tentang tata cara perancangan beton pracetak dan prategang disyaratkan sebagai berikut :

- Gaya-gaya boleh disalurkan antara komponen struktur dengan joint yang digROUT, kunci geser, konektor mekanis, sambungan

baja tulangan, topping bertulang, atau kombinasi dari cara-cara tersebut.

3.3.5 Penulangan Pracetak

Pelat dan balok pracetak ditulangi dengan meninjau hasil pembebanan kondisi terbesar saat pengangkatan, pemasangan, maupun saat beban keseluruhan. Analisa penulangan berdasarkan peraturan yang berlaku.

3.4 Kontrol Persyaratan

- a. Kontrol persyaratan elemen beton
 1. Plat
 - Kontrol jarak spasi tulangan
 - Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu
 - Kontrol perlu tulangan susut dan suhu
 - Kontrol Lendutan
 2. Balok
 - Kontrol $M_n \geq M_{n\text{perlu}}$ untuk penulangan lentur
 - Kontrol penulangan geser yang terdiri dari 6 Kombinasi
 3. Kolom
 - Kontrol momen yang terjadi $M_{\text{perlu}} \geq M_n$
 4. Pondasi
 - Kontrol dimensi poer
 - Kontrol geser poer
 - Geser satu arah
 - Geser dua arah

3.5 Gambar Perencanaan

Gambar perencanaan meliputi:

1. Gambar arsitektur terdiri dari:
 - Gambar denah
 - Gambar Tampak (tampak depan dan tampak samping)

- Gambar Potongan (potongan memanjang dan melintang)
- 2. Gambar struktur terdiri dari
 - Gambar plat
 - Gambar tangga dan bordes
 - Gambar balok
 - Gambar kolom
 - Gambar sloof
 - Gambar pondasi
- 3. Gambar penulangan
 - Gambar penulangan plat
 - Gambar penulangan tangga dan bordes
 - Gambar penulangan balok
 - Gambar penulangan kolom
 - Gambar penulangan sloof
 - Gambar penulangan poer dan pondasi
- 4. Gambar detail
 - a. Gambar detail panjang penyaluran
 - b. Gambar detail penjangkaran tulangan
 - c. Gambar detail pondasi dan poer

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Dimensi Struktur

Sebelum merencanakan struktur bangunan gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya, langkah awal yang perlu diketahui yaitu menentukan dimensi struktur-struktur utama yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Perencanaan balok dilakukan dalam dua tahap dimana tahap pertama balok pracetak dibuat dengan sistem fabrikasi yang kemudian pada tahap kedua dilakukan penyambungan dengan menggunakan sambungan basah. Pada tahap kedua balok dipasang dengan pengangkatan ke site lalu dilakukan *over-topping (cor in site)* setelah sebelumnya dipasang terlebih dahulu pelat pracetak. Dengan sistem tersebut maka akan membentuk suatu struktur yang monolit. Tebal minimum balok dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 tabel 9.5(a).

Tertumpu Sederhana

$$h_{min} = \frac{L}{16} \times l$$

Kedua Ujung Menerus

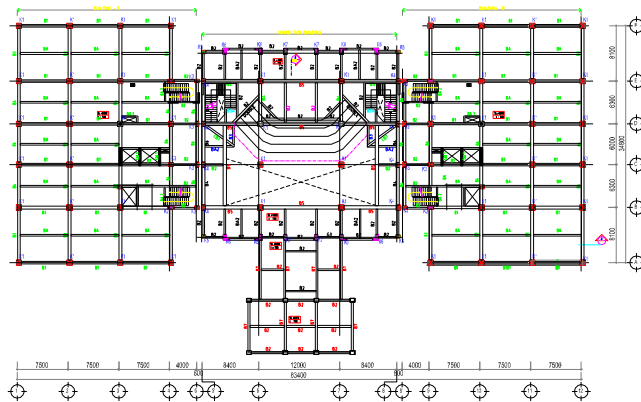
$$h_{min} = \frac{L}{21} \times l$$

Kantilever

$$h_{min} = \frac{L}{8} \times l$$

Ketentuan Tebal minimum balok tersebut diikuti dengan beberapa syarat, salah satunya adalah Untuk f_y selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

Adapun perencanaan dimensi balok dalam perencanaan struktur gedung Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya adalah sebagai berikut



Gambar 4. 1 Denah Perencanaan Pembalokan

Balok Induk

Data-Data Perencanaan :

Tipe balok : B3

Bentang balok (1 balok) : 810 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y):400 Mpa

Perhitungan Perencanaan sesuai SNI 03-2847-2013 tabel

9.5(a). :

$$h \geq \frac{L}{16} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{810}{16} \times (0,4 + \frac{400}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$h \geq 48,57 \quad b = 40$$

$$h \approx 60 \quad b \approx 40$$

Maka direncanakan dimensi balok Induk melintang dengan ukuran 40/60

Tipe balok : B1

Bentang balok (1 balok) : 750 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 Mpa

Perhitungan Perencanaan sesuai SNI 03-2847-2013 tabel

9.5(a). :

$$h \geq \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{750}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right) \quad b = \frac{2}{3} \times 60$$

$$h \geq 45,6 \quad b = 40$$

$$h \approx 60 \quad b \approx 40$$

Maka direncanakan dimensi balok Induk memanjang dengan ukuran 40/60

Tabel 4. 1 Dimensi Balok Induk

Beam type	Length (mm)	h=L/16	H dipakai	b	b dipakai	dimensi
B1	7500	456.0	600	400	400	40/60
B2	4000	243.0	500	334	250	25/50
B3	8100	492.0	600	400	400	40/60
B4	6300	383.0	600	400	400	40/60
B5	6000	365.0	600	400	600	40/60
B6	12000	729.0	1000	667	500	50/100
B7	7000	425.0	600	400	400	40/60

Balok Anak

Data-Data Perencanaan :

Tipe balok : BA

Bentang balok (1 balok) : 750 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y): 400 Mpa

Gambar Denah Terlampir

Perhitungan Perencanaan sesuai SNI 03-2847-2013 tabel

9.5(a). :

$$h \geq \frac{L}{21} \times (0,4 + \frac{f_y}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times h$$

$$h \geq \frac{750}{21} \times (0,4 + \frac{400}{700}) \quad b = \frac{2}{3} \times 50$$

$$h \geq 34,7 \quad b = 33$$

$$h \approx 50 \quad b \approx 30$$

Maka direncanakan dimensi balok Induk melintang dengan ukuran 30/50

Tabel 4. 2 Dimensi Balok Anak

Beam type	Length (mm)	h=L/21	dipakai	b	dipakai	dimensi
BA	7500	347.0	500	334	300	30/50
BA.2	3150	146.0	400	267	200	20/40

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Adapun data-data perencanaan, gambar denah, ketentuan, perhitungan dan hasil akhir gambar Perencanaan dimensi kolom adalah sebagai berikut:

Kolom

Data Perencanaan :

Tinggi kolom (Lkolom) : 500 cm

Bentang Balok (Lbalok) : 810 cm

Dimensi Balok (b) : 40 cm

Dimensi Balok (h) : 60 cm

Gambar Denah Terlampir

Ketentuan Perencanaan

Dimensi kolom direncanakan berdasarkan ketentuan dasar bangunan SRPMK yaitu “kolom kuat balok lemah”

Perhitungan Perencanaan

$$\frac{l_{kolom}}{L_{kolom}} \geq \frac{l_{balok}}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{balok}}$$

Menentukan dimensi kolom, dimana

$$h_{kolom} = b_{kolom}$$

$$\begin{aligned} \frac{\frac{1}{12} x h^4}{L_{kolom}} &\geq \frac{\frac{1}{12} x b x h^3}{L_{balok}} \\ \frac{\frac{1}{12} x h^4}{500} &\geq \frac{\frac{1}{12} x 40 x 60^3}{800} \end{aligned}$$

$$h = 48,21 \approx 50$$

$$h=60$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan ukuran 75 cm x 75cm

Berikut ini adalah rekapitulasi dimensi kolom

Tabel 4. 3 Dimensi Kolom

Tipe Kolom	b	h
K1	750	750
K2	450	900
K3	450	750
K4	550	750
K5	500	600
K6	450	900
K7	450	900

4.1.4 Perencanaan Dimensi Pelat

Pelat yang direncanakan terdiri dari 7 tipe pelat yang memiliki ukuran yaitu:

Pelat tipe A = 7500 x 4050 mm

Pelat tipe B = 7500 x 3150 mm

Pelat tipe C = 7500 x 3000 mm

Pelat tipe D = 3120 x 4100 mm

Pelat tipe E = 4600 x 4100 mm

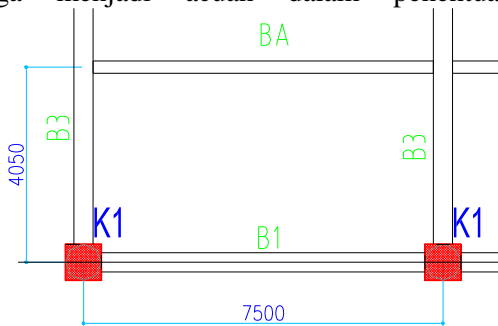
Pelat tipe F = 3700 x 4100 mm

Pelat tipe G = 2760 x 4100 mm

Dari pelat tersebut direncanakan menjadi pelat precast satu arah sehingga terdapat tiga tipe pelat precast

Type	Lx	Ly	Ly/Lx	Ket
P1	1420	3725	2.694	SATU ARAH
P2	1420	2850	2.077	SATU ARAH
P3	1420	5900	4.225	SATU ARAH

Dalam penentuan dimensi, pelat tipe A memiliki luasan terbesar, sehingga menjadi acuan dalam penentuan tebal pelat



Gambar 4. 2 Pelat yang ditinjau

Data Perencanaan :

Type pelat : A

Kuat tekan beton (f_c') : 35 MPa

Kuat leleh tulangan (f_y) : 400MPa

Rencana tebal pelat : 12 cm

Bentang pelat sumbu panjang : 750 cm

Bentang pelat sumbu pendek : 405 cm

Balok 1 : 30/50

Balok 2 : 40/60

Balok 3 : 40/60

Balok 4 : 40/60

Perhitungan Perencanaan :

Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$Ln = Ly - \left(\frac{bw}{2} + \frac{bw}{2} \right)$$

$$Ln = Ly - \left(\frac{40}{2} + \frac{30}{2} \right)$$

$$Ln = 715 \text{ cm}$$

Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$Sn = Ly - \left(\frac{bw}{2} + \frac{bw}{2} \right)$$

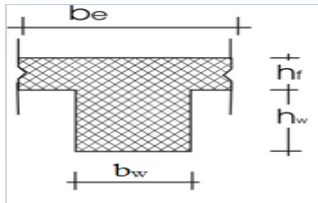
$$Sn = Ly - \left(\frac{40}{2} + \frac{40}{2} \right)$$

$$Sn = 365 \text{ cm}$$

Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek

$$\beta n = \frac{Ln}{Sn} = \frac{715}{365} = 1,958$$

(Plat 2 Arah)



Gambar 4. 3 Balok B1 As A' (30/50)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = 30 + 2(50 - 12)$$

$$= 30 + 76$$

$$= 106$$

$$b_{e2} = b_w + 8hf$$

$$b_{e2} = 30 + (8 \times 12)$$

$$= 20 + 96$$

$$= 116$$

Pilih nilai terkecil antara be1 dan be2

$$b_{e1} = 106$$

Faktor Modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)}$$

$$k = 1,6902$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot b_w \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6902 \cdot 30 \cdot \left(\frac{50}{12}\right)^3$$

$$I_b = 528190 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

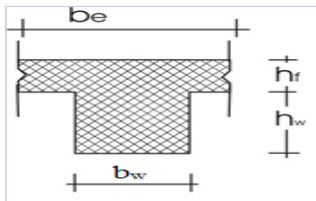
$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{528190}{57600} = 9,1699$$



Gambar 4. 4 Balok B1 As 1'(30/50)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = 30 + 2(50 - 12)$$

$$= 30 + 76$$

$$= 106$$

$$b_{e2} = b_w + 8hf$$

$$\begin{aligned}
 b_{e2} &= 30 + (8 \times 12) \\
 &= 20 + 96 \\
 &= 116
 \end{aligned}$$

Pilih nilai terkecil antara be1 dan be2

$$b_{e1} = 106$$

Faktor Modifikasi

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)} \\
 k &= \frac{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{50}\right) + 4 \left(\frac{12}{50}\right)^2 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{106}{30} - 1\right) x \left(\frac{12}{50}\right)}
 \end{aligned}$$

$$k = 1,6902$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot bw \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6902 \cdot 30 \cdot \left(\frac{50}{12}\right)^3$$

$$I_b = 528190 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

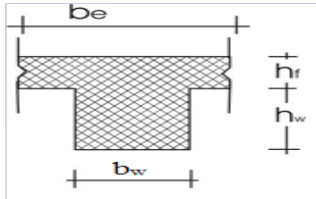
$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{528190}{57600} = 9,1699$$



Gambar 4. 5 Balok B1 As A (40/60)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) \\ &= 40 + 2(60-12) \\ &= 40 + 96 \\ &= 136 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_{e2} &= b_w + 8hf \\ &= 40 + (8 \times 12) \\ &= 40 + 96 \\ &= 136 \end{aligned}$$

Pilih nilai terkecil antara be1 dan be2

$$b_{e2} = 141$$

Faktor Modifikasi

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{12}{60}\right) + 4 \left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$K = 1,6419$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot b_w \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6419 \cdot 40 \cdot \left(\frac{60}{12}\right)^3$$

$$I_b = 1182170 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

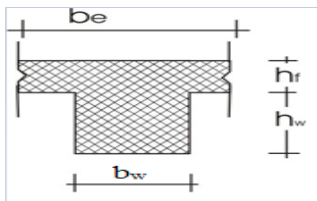
$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1182170}{57600} = 20,5238$$



Gambar 4. 6 Balok B1 As 1 (40/60)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h - t)$$

$$= 40 + 2(60-12)$$

$$= 40 + 96$$

$$= 136$$

$$b_{e2} = b_w + 8h_f$$

$$= 40 + (8 \times 12)$$

$$= 40 + 96$$

$$= 136$$

Pilih nilai terkecil antara be1 dan be2

$$b_{e2} = 136$$

Faktor Modifikasi

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{12}{60}\right) + 4\left(\frac{12}{60}\right)^2 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{136}{40} - 1\right) x \left(\frac{12}{60}\right)}$$

$$k = 1,6419$$

Momen Inersia Penampang =

$$I_b = k \cdot b_w \cdot \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,6419 \cdot 40 \cdot \left(\frac{60}{12}\right)^3$$

$$I_b = 1182170 \text{ cm}^4$$

Momen Inersia Lajur Pelat

$$I_p = b p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5 \times (400+400) \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 57600 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1182170}{57600} = 20,5238$$

Rata-Rata rasio kekuatan 4 balok =

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = 14,847$$

$$t = \ln x \left(\frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9\beta} \right)$$

$$t = 365 x \left(\frac{0,8 + \frac{400}{1400}}{36 + (9 \times 1)} \right)$$

$$= 88 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

Ketebalan pelat juga tidak boleh kurang dari 90mm

Maka tebal pelat yang digunakan adalah 120 mm

4.3 Pembebanan Struktur

4.3.1 Pembebanan Pelat

Beban yang ada pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan Peraturan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung . Perencanaan sesuai SNI 03-1727-2013. Komponen pelat menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Beban mati sesuai SNI 03-1727-2013 berdasarkan keadaan sebenarnya, dalam perencanaan ini beban mati didapatkan dari brosur. Beban hidup (LL) adalah beban hidup perkantoran

- Beban Mati (DL) Pelat LT 2-10
 - Berat spesi (3 cm) = 20 kg/m²
 - Keramik (2cm) = 16,5 kg/m²
 - Plafond+ penggantung= 8 kg/m²
 - Listrik = 40 kg/m²
 - Pemipaaan = 25 kg/m² +
 - Berat total = 109,5 kg/m²
- Beban Mati (DL) Pelat LT atap
 - Plafond+ penggantung= 8 kg/m²
 - Listrik = 40 kg/m²
 - Pemipaaan = 25 kg/m² +
 - Berat total = 87 kg/m²
- Beban Hidup (LL) Pelat LT 2-10
 - Perkantoran = 2,4 kn/m² = 240 kg/m²

4.3.2 Pembebanan Tangga

Beban yang ada pada komponen struktur tangga disesuaikan dengan Peraturan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung Perencanaan sesuai SNI 03-1727-2013. Dan karena komponen struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yaitu 1,2 DL + 1,6 LL

- Beban pada pelat bordes:
 Beban mati (DL) pelat lantai :
 Berat spesi (3 cm) = 20 kg/m²
 Keramik (2cm) = 16,5 kg/m²
 Ralling = 53 kg/m²
 Beban hidup (LL) pelat bordes :
 Beban terpusat tunggal = 135,619 kg
- Beban pada pelat tangga:
 Beban mati (DL) pelat tangga :
 Berat Anak tangga = 185,2 kg/m²
 Berat spesi (3 cm) = 20 kg/m²
 Keramik (2cm) = 16,5 kg/m²
 Ralling = 238,2kg/m²
 Beban hidup (LL) pelat lantai = 497 kg/m²

4.3.3 Pembebanan Dinding

Pembebanan komponen struktur dinding didistribusikan pada komponen struktur balok dalam pemodelan struktur SAP 2000 yang searah vertikal komponen struktur balok.

Distribusi beban komponen struktur dinding ke komponen struktur balok dikarenakan beban beban pada komponen struktur dinding berupa beban luasan sedangkan beban pada struktur balok merupakan beban merata sehingga beban dinding harus dikonversikan ke beban balok.

Pembebanan yang ada pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan Peraturan Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung Perencanaan sesuai SNI 03-1727-2013 yang menyatakan bahwa berat mati dinding sesuai dengan keadaan sebenarnya. Dalam perencanaan ini, beban dinding didapatkan dari brosur sebesar 90 kg/m²

4.3.4 Pembebanan Angin

Pembebanan angin dalam perencanaan ini sesuai dengan SNI 1727-2013 tentang Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Gedung fakultas Tarbiyah UINSA Surabaya memiliki tinggi sebesar 23,8 m sehingga beban angin termasuk Prosedur pengarah bagian 1 untuk bangunan gedung dari semua ketinggian.

Berikut ini adalah parameter yang digunakan dalam menghitung beban angin

1. Kecepatan Angin dasar, V
Kecepatan angin dasar diperoleh berdasarkan data BMKG dimana $V = 40 \text{ m/s}$
2. Faktor arah angin, K_d berdasarkan Tabel 26.6-1 pasal 26.6 SNI 1727-2013 diperoleh sebesar 0,85
3. Kategori eksposur berdasarkan pasal 26.7.3 SNI 1727-2013 termasuk dalam kategori eksposur C
4. Faktor Topografi, K_{zt} berdasarkan pasal 26.8 SNI 1727-2013 diperoleh $K_{zt} = 1$
5. Faktor efek tiupan angin berdasarkan pasal 26.9 SNI 1727-2013 sebesar 0,85
6. Klasifikasi tertutupan, termasuk dalam kategori bangunan tertutup

Selanjutnya setelah menentukan parameter adalah menghitung beban angin dengan langkah berikut

- a) Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas, K_z atau K_h berdasarkan tabel 27.3-1 SNI 1727-2013.

α	9,5
----------	-----

	zg (m)	274,32	m	
h1	24,4	m	Ekspposure C1	1,21
ho	21,3	m	Ekspposure Co	1,17
h	23,8	m	Ekspposure C	1,202709677
Untuk 15 ft<h<zg				
Kh	=	$2,01 \cdot (h/zg)^{2/\alpha}$		
	=	$2,01 \cdot (23,8 \text{ m}/274,32)^{2/9,5}$		
	=	1,2		

α	9,5			
zg (m)	274,32	m		
z1	18	m	Eksposure C1	1,13
zo	15,2	m	Eksposure Co	1,09
z	17,3	m	Eksposure C	1,11929
Untuk 15 ft<z<zg				
Kz	=	$2,01. (z/zg)^{2/\alpha}$		
	=	$2,01. (17,3 \text{ m}/274,32)^{2/9,5}$		
	=	1,123		

Dimana

- h = ketinggian bangunan dari atap baja hingga tanah
z = ketinggian bangunan beton
 α = konstanta eksposur daratan berdasarkan tabel 26.9-1 SNI 1727-2013

z_g = konstanta eksposur daratan berdasarkan tabel 26.9-1 SNI 1727-2013

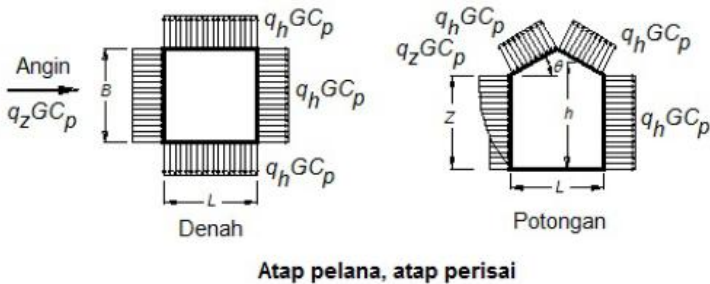
b) Menentukan tekanan velositas q_z , atau q_h berdasarkan persamaan 27.3-1 SNI 1727-2013

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \cdot 1,123 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (40 \text{ m/s})^2 \\ &= 93,59 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_h &= 0,613 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (40 \text{ m/s})^2 \\ &= 100,19 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

c) Menentukan koefisien tekanan eksternal C_p berdasarkan gambar 27.4-1 dan tekanan angin p berdasarkan persamaan 27.4-1

Berikut ini adalah ketentuan pembebanan angin untuk atap pelana dan pelana



Gambar 4. 7 Pembebanan Angin Pada Bangunan (SNI 1727-2013)

Koefisien C_p dan tekanan angin p

Dinding

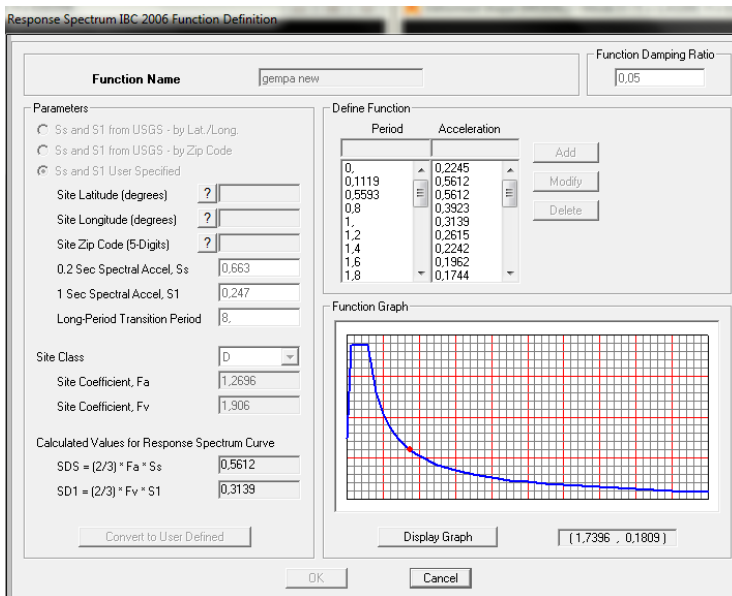
permukaan	L (m)	B (m)	L/B	C_p	p (kg/m ²)
dinding sisi angin datang	19	47	0,404	0,8	6,3644905

dinding sisi angin pergi	19	47	0,404	-0,38	-4,258014
dinding tepi	19	47	0,404	-0,7	-5,961219

4.3.5 Pembebanan Gempa

4.3.5.1 Pembebanan Gempa dengan Respons Spectrum Pada SAP 2000

Pembebanan respons spectrum dilakukan dengan menginputkan respon pada sub bab 2.3 kedalam SAP 2000. Input respon spektrum dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 8 Input Respon Spektrum pada SAP

Untuk factor pembesaran bebannya diambil dari formulasi perumusan sebagai berikut sesuai dengan SNI 1726-2012:

$$LoadFactor = \frac{I}{R} g = \frac{1}{8} (9.8) = 1.225$$

Load factor tersebut adalah untuk arah gempa yang ditinjau sedangkan arah yang tegak lurus dari peninjauan gempa tersebut akan dikenakan gempa sebesar 30% dari arah gempa yang ditinjau sehingga factor pembesaran beban pada arah tegak lurus gempa yang ditinjau adalah $0.3 \times 1.225 = 0.3675$

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: GEMPA X [Set Def Name]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination

- ☒ CQC
- ☐ SRSS
- ☐ Absolute
- ☐ GMC
- ☐ NRC 10 Percent
- ☐ Double Sum

GMC 1: 1

GMC 2: 0

Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination

- ☒ SRSS
- ☐ CQC3
- ☐ Absolute

Scale Factor: []

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	gempa new	1.225
Accel	U1	gempa new	1.225
Accel	U2	gempa new	0.3675

[Add] [Modify] [Delete]

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Gambar 4. 9 Input Load Case Gempa X dan Gempa Y

4.3.5.2 Pendefinisian Modal Analisis dan Ragam Analisis

Analisis modal menggunakan SAP 2000 diambil sebanyak 12 Mode Shape untuk menjamin partisipasi massa struktur lebih dari 90 %. Dalam hal ini partisipasi massa dari struktur diambil 99% terhadap gaya lateral kearah X dan kearah Y. Input form untuk analisa modal dapat dilihat sebagai berikut:

Load Case Data - Modal

Load Case Name: MODAL Set Def Name Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Modal Design...

Stiffness to Use:
☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State
☐ Stiffness at End of Nonlinear Case [v]
 Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Type of Modes:
☒ Eigen Vectors
☐ Ritz Vectors

Number of Modes:
 Maximum Number of Modes: 12
 Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied

Load Type	Load Name	Target Mass Participation Ratios (%)	Static Correction
Load Pattern	ASPAL	99	No
Accel	UX	99	No
Accel	UY	99	No

Add Modify Delete

☒ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:
 Frequency Shift (Center): 0.
 Cutoff Frequency (Radius): 0.
 Convergence Tolerance: 1.000E-09
☒ Allow Automatic Frequency Shifting

OK Cancel

Gambar 4. 10 Form Analisa Modal

Tabel 4. 4 Modal Participation Ratio

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99,981	99,1663
MODAL	Acceleration	UY	99,981	99,1663
MODAL	Acceleration	UZ	7,591E-08	1,939E-08

Tabel 4. 5 Modal Periods anf Frequencies

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1.615075	0.61917	3.8903	15.135
MODAL	Mode	2	1.601694	0.62434	3.9228	15.389
MODAL	Mode	3	1.488956	0.67161	4.2199	17.807
MODAL	Mode	4	1.484522	0.67362	4.2325	17.914
MODAL	Mode	5	1.371408	0.72918	4.5816	20.991
MODAL	Mode	6	1.368613	0.73067	4.5909	21.077
MODAL	Mode	7	0.51146	1.9552	12.285	150.92
MODAL	Mode	8	0.511206	1.9562	12.291	151.07
MODAL	Mode	9	0.488368	2.0476	12.866	165.53
MODAL	Mode	10	0.472359	2.117	13.302	176.94
MODAL	Mode	11	0.469763	2.1287	13.375	178.9
MODAL	Mode	12	0.436737	2.2897	14.387	206.98

4.3.5.3 Kontrol Periode Alami Struktur

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan dalam SNI 1726-2012 sebesar :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x = 0,813 \text{det}$$

Dimana :

h_n = ketinggian struktur (42,5 m)

C_t = parameter pendekatan tipe struktur (sistem struktur lainnya sebesar 0.0488)

x = parameter pendekatan tipe struktur (rangka beton pemikul momen sebesar 0.75)

Tabel 4. 6 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x (SNI 1726-2012, Tabel 14)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Tabel 4. 7 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung (SNI 1726-2012, Tabel 15)

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Periode fundamental struktur pendekatan,

$$T_a = 0,0466 \cdot 42,5^{0,9} = 1,361 \text{ detik}$$

dengan batas atas periode fundamental struktur sebesar,

$$T_{a\ atas} = C_u \cdot T_a$$

$$C_u = 1.4 \text{ (karena } S_{DI}=0.31)$$

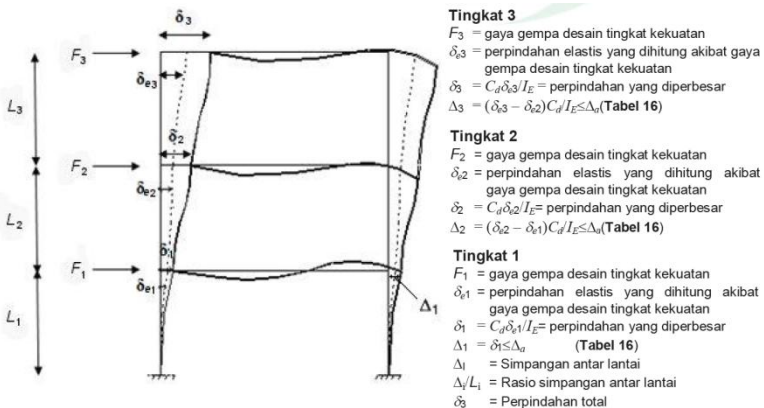
$$T_{a\ atas} = 1,4 \cdot 1,361 = 1,905 \text{ detik}$$

$$T = 1,615 \text{ detik}$$

Sehingga perioda fundamental struktur yang sebesar 1,615 detik < $T_{max} = 1,905$ detik

4.3.5.4 Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar lantai tingkat (Δ), akibat gempa yang ditinjau dengan analisa elastis, yang ditunjukkan oleh gambar 3.7 tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a) seperti didapatkan pada tabel 3.5



Gambar 4. 11 Penentuan Simpangan antar Lantai

Tabel 4. 8 Simpangan Ijin antar Lantai, Δ_a (SNI 1726-2012, Tabel 16

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Tabel 4. 9 Simpangan antar lantai akibat gempa X

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δe (mm)	$\delta x e$ (mm)	δx (Cd. δe /I) (mm)	δa (mm)	KET
Lantai 11	41.5	4	30.224	-0.461	-2.535	80	OK
Lantai 10	37.5	4	30.685	1.433	7.882	80	OK
Lantai 9	33.5	4	29.252	1.975	10.863	80	OK
Lantai 8	29.5	4	27.277	2.524	13.882	80	OK
Lantai 7	25.5	4	24.753	3.036	16.698	80	OK
Lantai 6	21.5	4	21.717	3.530	19.415	80	OK
Lantai 5	17.5	4	18.187	4.052	22.286	80	OK
Lantai 4	13.5	4	14.135	5.215	28.683	80	OK
Lantai 3	9	4.5	8.920	4.415	24.283	90	OK
Lantai 2	5	4	4.505	3.228	17.754	80	OK
Lantai 1	0	5	1.277	1.277	7.024	100	OK

Tabel 4. 10 Simpangan Antar Lantai akibat gempa Y

Lantai	Elevasi (m)	Tinggi antar tingkat (m)	δe (mm)	$\delta x e$ (mm)	δx (Cd. δe /I) (mm)	δa (mm)	KET
Lantai 11	41.5	4	26.89	1.009	5.550	80	OK
Lantai 10	37.5	4	25.881	1.512	8.316	80	OK
Lantai 9	33.5	4	24.369	2.062	11.341	80	OK
Lantai 8	29.5	4	22.307	2.534	13.937	80	OK
Lantai 7	25.5	4	19.773	2.980	16.390	80	OK
Lantai 6	21.5	4	16.793	3.346	18.403	80	OK
Lantai 5	17.5	4	13.447	3.563	19.597	80	OK
Lantai 4	13.5	4	9.884	3.814	20.977	80	OK
Lantai 3	9	4.5	6.070	2.686	14.773	90	OK
Lantai 2	5	4	3.384	0.050	0.275	80	OK
Lantai 1	0	5	3.334	3.334	18.337	100	OK

4.3.5.5 Peninjauan terhadap Pengaruh Gempa Statik

Simulasi pembebanan terhadap beban gempa ditinjau secara statik maupun dinamis, sedangkan besaran gaya gempa statik ekuivalen merujuk pada persamaan pada SNI 1726-2012

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W_t = berat total gedung

$$S_{DS} = 0,5612$$

$$S_{D1} = 0,3139$$

Penentuan koefisien C_s adalah sebagai berikut :

1. C_s

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,5612}{\left(\frac{8}{1} \right)} = 0,07015$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek = 0,5612

R = Faktor modifikasi respons=8

I_e = Faktor keutamaan perkantoran =1

2. Cs maksimum

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,3139}{1,615 \left(\frac{8}{1} \right)} = 0,0243$$

Dimana :

S_{D1} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode 1 detik= 0,3139

R = Faktor modifikasi respon =8

I_e = Faktor keutamaan hunian = 1

T = Periode struktur dasar (detik)= 1,615 detik

harus tidak kurang dari

$$\begin{aligned} C_s &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \cdot 0,5612 \cdot 1 \geq 0,01 \\ &0,0247 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Dimana :

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek

I_e = Faktor keutamaan hunian

Jadi Cs dipakai adalah $C_s = 0,0247$

Berat struktur W_t didapatkan dari SAP dengan besar sebagai berikut

Tabel 4. 11 Base Reaction

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf
DEAD	LinStatic		1.07E-06	3.47E-09	14490837
DINDING	LinStatic		1.65E-07	-9.69E-12	1558280
LIVE	LinStatic		4.58E-07	3.43E-09	4381406
SPESI	LinStatic		3.62E-08	-1.4E-10	330167.5
KERAMIK	LinStatic		2.99E-08	-1.15E-10	272388.2
PLAFOND	LinStatic		1.46E-08	-4.43E-11	134329.1
LISTRİK	LinStatic		7.28E-08	-2.22E-10	671645.7
PERPIPAAN	LinStatic		4.55E-08	-1.41E-10	419778.6
ASPAL	LinStatic		1.3E-10	2.04E-11	3958.73
S.DEAD TG	LinStatic		1.69E-09	3.8E-10	26752.55
JUMLAH					22289543
GEMPA X	LinRespSpec	Max	633076.7	187463.6	7857.61
GEMPA Y	LinRespSpec	Max	190062.4	624407.5	2977.47
JUMLAH			823139.1	811871.1	

W_t = jumlah semua beban mati+ beban mati tambahan+ beban hidup

$$= 22289543 \text{ kg}$$

Jadi gaya gempa statik ekivalen :

$$V_{\text{statik}} = C_s \cdot W_t = 0,0247 \times 22289543 \text{ kg} = 550391,225 \text{ kg}$$

$$0,85 \cdot V_{\text{statik}} = 467832,541 \text{ kg}$$

Hasil analisa dinamis gaya geser SAP 2000 didapatkan sebesar 823139,1 kg untuk arah X dan 811871,1 kg untuk arah Y sehingga telah memenuhi ketentuan

Arah X

$$V_{\text{respon}} > 0,85 V_{\text{statik}}$$

$$823139,1 \text{ kg} > 467832,541 \text{ kg (memenuhi)}$$

Arah Y

$$V_{\text{respon}} > 0,85 V_{\text{statik}}$$

$$811871,1 \text{ kg} > 467832,541 \text{ kg (memenuhi)}$$

4.3.6 Periksa Dilatasi Bangunan

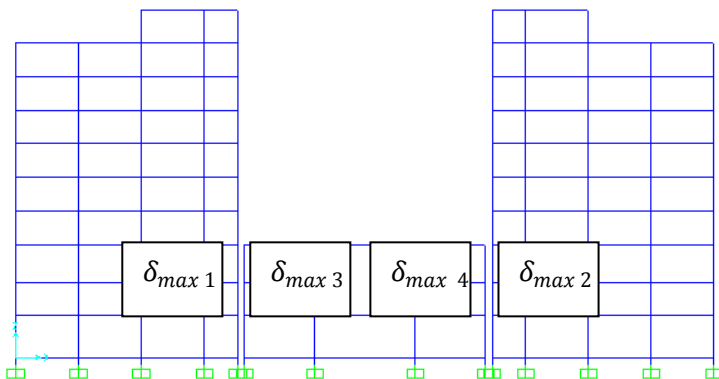
Pemisahan harus dapat mengakomodasi terjadinya perpindahan respons inelastik maksimum (δ_M). δ_M harus dihitung pada lokasi kritis dengan mempertimbangkan perpindahan translasi maupun rotasi pada struktur, termasuk pembesaran torsi (bila ada), dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$\delta_M = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e}$ dengan δ_{max} adalah perpindahan elastik maksimum pada lokasi kritis.

Struktur-struktur bangunan yang bersebelahan harus dipisahkan minimal sebesar δ_{MT} yang dihitung dari persamaan dibawah ini:

$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2}$ dengan δ_{M1} dan δ_{M2} adalah perpindahan respons inelastik maksimum pada struktur-struktur bangunan yang bersebelahan di tepi-tepi yang berdekatan.

Dari hasil SAP diperoleh $\delta_{max 2}$ pada lokasi kritis sebagai berikut:



Gambar 4. 12 Kontrol Dilatasi

Kontrol dilatasi Bangunan 1 dan Bangunan 3

Tabel 4. 12 δ_{max1} pada Bangunan 1

Joint Displacement		
OutputCase	U1	U2
Text	m	m
1,2 D+ 1L+ 1EX	0.029119	0.016602

Tabel 4. 13 δ_{max2} pada Bangunan 3

Joint Displacement		
OutputCase	U1	U2
Text	m	m
1,2 D+ 1L+ 1EX	0.007007	0.004417

$$\delta_{M1} = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 0,029m}{1} = 0,16 \text{ m}$$

$$\delta_{M2} = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 0,07m}{1} = 0,038 \text{ m}$$

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2}$$

$$= \sqrt{(0,16)^2 + (0,038)^2}$$

$$= 0,164 \text{ m} = 16,4 \text{ cm}$$

Kontrol dilatasi Bangunan 2 dan Bangunan 3

Tabel 4. 14 δ_{max1} pada Bangunan 2

Joint Displacement		
OutputCase	U1	U2
Text	m	m
1,2 D+ 1L+ 1EX	0.030801	0.016189

Tabel 4. 15 δ_{max2} pada Bangunan 3

Joint Displacement		
OutputCase	U1	U2
Text	m	m
1,2 D+ 1L+ 1EX	0.006923	0.005103

$$\delta_{M1} = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 0,03 \text{ m}}{1} = 0,169 \text{ m}$$

$$\delta_{M2} = \frac{C_d \delta_{max}}{I_e} = \frac{5,5 \cdot 0,0069 \text{ m}}{1} = 0,038 \text{ m}$$

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2}$$

$$= \sqrt{(0,169)^2 + (0,038)^2}$$

$$= 0,73 \text{ m} = 17,3 \text{ cm}$$

Pada perencanaan direncanakan dengan jarak dilatasi adalah 30cm > 17,3 cm, maka jarak dilatasi memenuhi

4.4 Perhitungan Struktur Sekunder

4.4.1 Perhitungan Penulangan Pelat

Perhitungan penulangan pelat akan direncanakan dalam dua tahap, yaitu tahap pertama penulangan sebelum komposit dan kedua adalah penulangan sesudah komposit. Lalu dipilih tulangan yang layak untuk digunakan yaitu dengan cara memperhitungkan tulangan yang paling kritis diantara kedua keadaan tersebut. Semua tipe pelat menggunakan tulangan yang sama untuk memudahkan pelaksanaan. Perhitungan pelat tipe A dengan dimensi 750 cm × 405 cm yang dianggap mewakili perhitungan pelat lainnya.

1. Sebelum Komposit

Pegecoran

Keadaan ini terjadi pada saat awal pengecoran topping yaitu komponen pracetak dan komponen topping belum menyatu dalam memikul beban. Perletakan pelat dapat dianggap sebagai perletakan bebas. Pada perhitungan ini diambil contoh pelat precast tipe P1 dengan ukuran 1,42 m x 3,725 m

a. Data Perencanaan

Mutu Beton (f_c')	= 35Mpa
BJ tul.lentur (f_y)	= 400 Mpa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 80 mm
Tebal Selimut beton	= 20 mm
Tebal overtopping	= 40 mm
Diameter Tulangan Lentur	= 10mm
Diameter Tulangan Susut	= 10 mm
Bentang Pelat sb. panjang	= 3,725 m
Bentang Pelat sb. pendek	= 1,42 m
Berat Precast	= 1016 kg

$$\begin{aligned}
 d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\emptyset \\
 &= 80 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\
 &= 55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$d_y = h - t.\text{selimut} - 0,5 \emptyset - \emptyset$$

$$= 80 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 10$$

$$= 45 \text{ mm}$$

b. Beban pada Pelat Precast

Beban Mati

Berat sendiri plat (0,08*2400)	= 192 kg/m ²
Overtopping (0,04*2400)	= 96 kg/m ² +
	<hr/> = 288 kg/m ²

Beban Hidup

Pekerja	= 250 kg/m ²
---------	-------------------------

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2 D + 1,6 L \\ &= 1,2 \cdot (288 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 250 \text{ kg/m}^2) \\ &= 745,6 \text{ kgm} \end{aligned}$$

c. Perhitungan Momen-Momen pelat lantai

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3,725 \text{ m}}{1,42 \text{ m}} = 2,62 \text{ (pelat satu arah)}$$

Pada pelat satu arah penulangan lentur hanya pada arah X (arah melintang pelat) sedangkan pada arah Y (arah memanjang pelat) merupakan tulangan pembagi.

Penulangan Arah X

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \cdot Q_u \cdot L^2 \\ &= 1/8 \cdot 745,6 \cdot (3,725 \text{ m})^2 \\ &= 1293,21 \text{ kgm} \\ &= 12932100 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 35}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} \end{aligned}$$

$$= 0.0379$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0379 = 0.028$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 35} = 13,44$$

$$M_n = \frac{12932100 \text{ Nmm}}{0,9} = 14368981 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{14368981}{1000 \times 55^2} = 4,7$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 4,7}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,013$$

ρ_{\min} , ρ_{perlu} dan ρ_{\max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,013 < 0,028 \quad (\text{oke})$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,013 \times 1000 \text{ mm} \times 55 \text{ mm} \\ &= 715,754 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 55}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{\min}}$ (memenuhi)

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times \text{mm} = 160 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5}$$

$$S = 109 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-100

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{100}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 785,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 785,4 \text{ mm}^2 \geq 332,5 \text{ mm}^2$$

Penulangan Arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\min} = 0,0018$ (SNI 03-2847-2013 pasal 7.12.2.1)

$$A_{s\text{perlu}} = 0,0018 \cdot b \cdot d_y$$

$$= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 45 = 99 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2843 pasal 7.12.2.2 jarak tulangan minimum adalah :

$$S < 5 \times \text{tebal pelat}$$

$$S < 5 \times 80$$

$$S < 400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

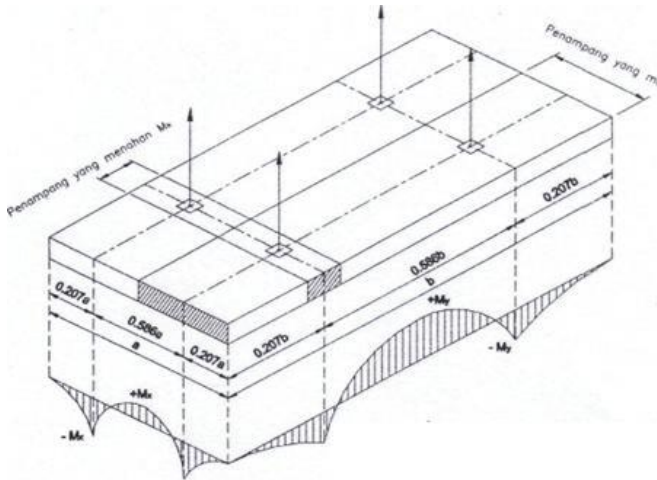
$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s\text{perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{99}$$

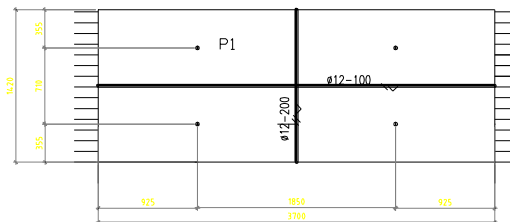
$S = 793 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$ (Karena mengikuti perhitungan ulangan setelah komposit pada daerah lapangan Y)

Pengangkatan

Dalam pemasangan pelat pracetak, perlu diingat bahwa pelat akan mengalami pengangkatan elemen (erection). Besarnya momen dan pengaturan jarak tulangan angkat sesuai dengan buku “*Precast and Prestressed Concrete*” seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini dimana momen daerah tumpuan sama dengan momen daerah lapangan, yaitu:



Gambar 4. 13 posisi titik angkat (PCI Design handbook 7th edition fig 8.3.2)



$$M_x = 0,0107 \times w \times a^2 \times b$$

$$M_y = 0,0107 \times w \times a \times b^2$$

Pada pelat tipe P1: $L_x = 1,42\text{m}$, $L_y = 3,725\text{ m}$

Direncanakan $a = 1,42\text{ m}$ dan $b = 3,725\text{ m}$

Dengan $w = 0,08\text{m} \times 2400\text{ kg/m}^3 = 192\text{ kg/m}^2$

Maka :

$$M_x = 0,0107 \times 192 \times (1,42^2) \times 3,725 = \text{kgm}$$

$$M_y = 0,0107 \times 192 \times (1,42) \times 3,725^2 = 48,574\text{ kgm}$$

Penulangan arah X (tulangan utama)

$$\text{Mu} = 18,517 \text{ kgm} = 185170 \text{ Nmm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 35}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)}\end{aligned}$$

$$= 0.0379$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0379 = 0.028$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,44$$

$$\text{Mn} = \frac{185170 \text{ Nmm}}{0,9} = 361319 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{361322}{1000 \times 55^2} = 0,119$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 0,119}{400}} \right)\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,00299$$

ρ_{\min} , ρ_{perlu} dan ρ_{\max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0029 < 0,028 \quad (\text{oke})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\min} \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 1000\text{mm} \times 55\text{mm}$$

$$= 192,5 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 55}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{\min}}$ (menggunakan $A_{s_{\min}}$)

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times \text{mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5}$$

$$S = 236,2 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Penulangan Arah Y

Pada penulangan arah Y dipasang tulangan pembagi untuk menahan susut dan suhu dengan $\rho_{\min} = 0,0018$ (SNI 03–2847–2013 pasal 7.12.2.1)

$$A_{s_{\text{perlu}}} = 0,0018 \cdot b \cdot d_y$$

$$= 0,0018 \cdot 1000 \cdot 45 = 99 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 03-2843 pasal 7.12.2.2 jarak tulangan minimum adalah :

$$S < 5 \times \text{tebal pelat}$$

$$S < 5 \times 80$$

$$S < 400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

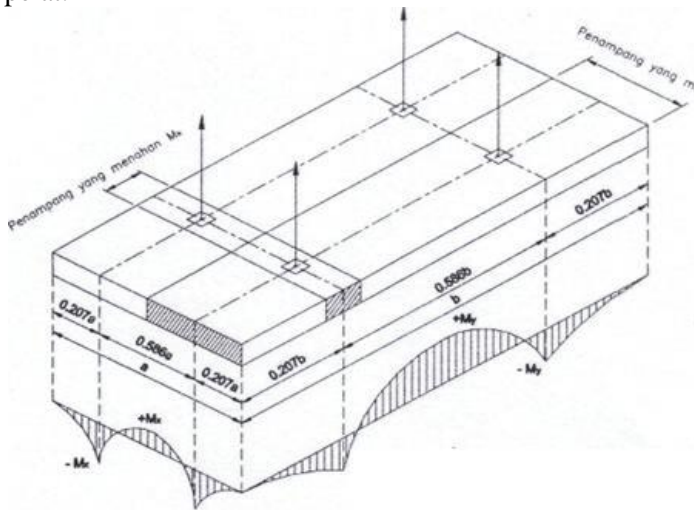
$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{99}$$

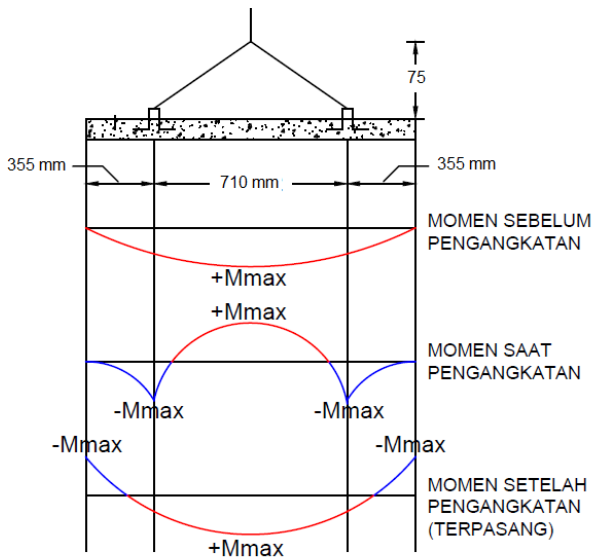
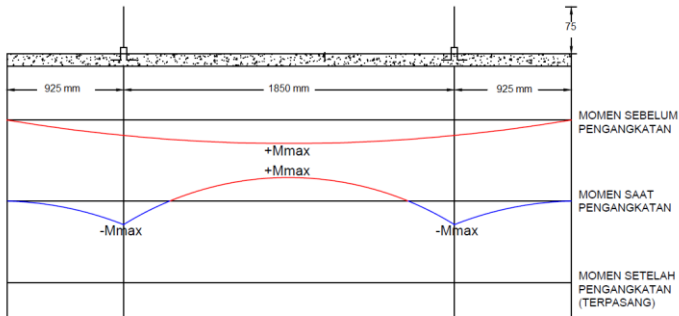
$S = 793 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$ (Karena mengikuti perhitungan ulangan setelah komposit pada daerah lapangan Y)

Perhitungan Tulangan Angkat

Dalam pemasangan pelat pracetak, pelat akan mengalami pengangkatan sehingga perlu direncanakan tulangan angkat untuk pelat.



- Gaya akibat pengangkatan akan ditransformasikan kedua arah horizontal, yaitu arah i dan j.
- Tinggi pengangkatan dari muka pelat diambil 75 cm
- Pada perhitungan beban ultimate ditambahkan koefisien kejut ($k = 1,2$) pada saat pengangkatan.
- Beban mati pengangkatan $DL = 0,08 \times 1,42 \times 3,725 \times 2400 = 1015,58 \text{ kg}$



Dalam hal ini dianggap ada 2 orang pekerja yang ikut serta diatas pelat untuk mengatur dan mengarahkan posisi pelat, maka $LL = 200 \text{ kg}$.

Beban ultimate = $(1,2 \times 1,2 \times 1015,58) + (1,2 \times 1,6 \times 200) = 1846,43 \text{ kg}$

Gaya angkat setiap tulangan = $1846,43 / 4 = 461,6 \text{ kg}$

σ tarik ijin baja = $f_y / 1,5 = 4000 / 1,5 = 2666 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Maka diameter tulangan angkat} = \sqrt{\frac{4 \times 461,6}{\pi \cdot 2666}} = 0,469 \text{ cm}$$

Maka dipasang tulangan angkat \varnothing 10 mm

Kontrol Tulangan Angkat

$$f_{\text{pelat}} < f_{\text{cr}}$$

fcr untuk beton 7 hari adalah

$$f_r = 0,7 \times \sqrt{f_{ci}} = 0,7 \times \sqrt{22,5} = 3,38 \text{ Mpa}$$

$$y_c = 0,5 \times 0,08 = 0,04 \text{ m}$$

momen akibat pengangkatan ditinjau sesuai arah gambar diatas

Arah i sama dengan arah y

Arah j sama dengan arah x

$$\begin{aligned} w &= (t_{\text{pelat}} \times \text{BJ beton}) + \left(\frac{W_{\text{pekerja}}}{A_{\text{pelat}}} \right) \\ &= (0,08 \times 2400) + \left(\frac{200}{1,42 \times 3,725} \right) = 230 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= 0,0107 \times w \times a^2 \times b \\ &= 0,0107 \times 230 \times 1,42^2 \times 3,725 \\ &= 18,47 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 0,0107 \times w \times a \times b^2 \\ &= 0,0107 \times 230 \times 1,42 \times 3,725^2 \\ &= 48,45 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$P = 1846,43/4 = 461,6 \text{ kg}$$

$$M_y = \left(\frac{P \times y_c}{\tan 45} \right) = \left(\frac{461,6 \times 0,04}{\tan 45} \right) = 48,62 \text{ kgm}$$

$$M_y \text{ tot} = 48,45 \text{ kgm} + 48,62 \text{ kgm} = 97,07 \text{ kgm}$$

$$M_x \text{ tot} = 67,9 \text{ kgm. } F_{\text{kejut}} (1,5) = 145,6 \text{ kgm}$$

$$M_y \text{ ditahan oleh penampang selebar } a/2 = 142/2 = 71 \text{ cm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \cdot 71 \text{ cm} \cdot (8 \text{ cm})^2 = 757,33 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} f_t &= \frac{M_{\text{total}}}{Z} = \frac{145,6 \times 10^4}{757,33 \times 10^3} \\ &= 1,95 \text{ Mpa} < f_r (3,38 \text{ Mpa}) \dots \dots \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

Mx ditahan oleh penampang selebar 15 t = 120 cm atau $b/2 = 3,725/2 = 186,25$ cm

Ambil terkecil = 120 cm

$$M_x = \left(\frac{P \times y_c}{\tan 45} \right) = \left(\frac{461,6 \times 0,04}{\tan 45} \right) = 48,62 \text{ kgm}$$

$$M_x \text{ tot} = 18,47 \text{ kgm} + 48,62 \text{ kgm} = 67,9 \text{ kgm}$$

$$M_x \text{ tot} = 67,9 \text{ kgm. } F \text{ kejut } (1,5) = 100,6 \text{ kgm}$$

$$Z = \frac{1}{6} \cdot 120 \text{ cm. } (8 \text{ cm})^2 = 1280 \text{ cm}^3$$

$$f_t = \frac{M \text{ total}}{Z} = \frac{100,6 \times 10^4}{1280 \times 10^3}$$

$$= 0,79 \text{ Mpa} < f_r (4,14 \text{ Mpa}) \dots \dots \text{memenuhi}$$

2. Sesudah Komposit

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit penuh.

a. Data Perencanaan

Mutu Beton (f_c')	= 35Mpa
BJ tul.lentur (f_y)	= 400 Mpa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 120 mm
Tebal Selimut beton	= 20mm
Diameter Tulangan Lentur=	10 mm
Diameter Tulangan Susut=	10 mm
Bentang Pelat sb. panjang=	7500 mm
Bentang Pelat sb. pendek =	4050 mm

b. Beban pada Pelat

Beban Mati

Berat sendiri plat	= 288 kg/m ²	
Keramik 2cm	= 16,5	kg/m ²
Spesi 3 cm	= 20	kg/m ²
Plafond+penggantung	= 8	kg/m ²

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Pemipaan air bersih\&kotor} & = 25 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Instalasi listrik} & = 40 \text{ kg/m}^2 + \\
 \hline
 & = 397,5 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Beban Hidup} & & \\
 \text{Perkantoran} & = 240 \text{ kg/m}^2
 \end{array}$$

c. Perhitungan Momen-Momen pelat lantai

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{7,5 \text{ m}}{4,05 \text{ m}} = 1,9$$

$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2D + 1,6L \\
 &= 1,2(397,5 \text{ kg/m}^2) + 1,6(240 \text{ kg/m}^2) \\
 &= 861 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lx} &= 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 40 \text{ m} \\
 &= 564,9 \text{ Kgm} \\
 &= 5649000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ly} &= 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 12 \text{ m} \\
 &= 169,5 \text{ Kgm} \\
 &= 1695000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{tx} &= 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X \\
 &= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 83 \text{ m} \\
 &= 1172,2 \text{ Kgm} \\
 &= 11719000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{ty} = 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X$$

$$= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 57 \text{ m}$$

$$= 805 \text{ Kgm}$$

$$= 8050000 \text{ Nmm}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

$$\begin{aligned} d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\varnothing \\ &= 120 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= h - t.\text{selimut} - 0,5 \varnothing - \varnothing \\ &= 120 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 10 \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 35}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} \end{aligned}$$

$$= 0,0379$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0379 = 0,028$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,44$$

Penulangan Lapangan

Arah X

$$M_{lx} = 5649000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{5649000 \text{ Nmm}}{0,9} = 6277790 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{6277790}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 0,695$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 0.695}{400}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,002$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,002 < 0,028 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,002 = 0,0026$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0026 \times 1000\text{mm} \times 95\text{mm}$$

$$= 217,299 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{min} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y}$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{400}$$

$$As_{min} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari As_{min}

$$\text{maka } As_{perlu} = As_{min}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times \text{mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5}$$

$$S = 236,2 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 392,7 \text{ mm}^2 \geq 332,5 \text{ mm}^2$$

Karena pada perhitungan pracetak tulangan arah X diperlukan Ø10-100, maka tulangan tumpuan X dipasang Ø10-100

- **Arah Y**

$$M_{ly} = 1695000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{1695000 \text{ Nmm}}{0,9} = 1883007 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{1883007}{0,9 \times 1000 \times 85^2} = 0,261$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 0,261}{400}} \right) \\ \rho_{perlu} &= 0,0007\end{aligned}$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$0,0035 < 0,0007 < 0,0248$ (tidak oke)

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0007 = 0,001$$

$$\begin{aligned}As_{perlu} &= \rho_{perlu} \times b \times d = 0,001 \times 1000\text{mm} \times 85\text{mm} \\ &= 72,31 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{min} = \frac{1,4 \times b \times d}{f_y}$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{400}$$

$$As_{min} = 297,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari As_{min}

maka $As_{perlu} = As_{min}$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times \text{mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{297,5}$$

$$S = 263 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai $\phi 10$ -200

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 392,7 \text{ mm}^2 > 297,5 \text{ mm}^2$$

Penulangan Tumpuan

- **Arah X**

$$M_{lx} = 11719000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{11719000 \text{ Nmm}}{0,9} = 13024131.75 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{13024131.75}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 1,44$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 1,44}{400}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,004$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,004 < 0,0248 \text{ (oke)}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= 0,004 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 351,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{400}$$

$$A_{s_{min}} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{min}}$ (memenuhi)

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{351,48}$$

$$S = 193,45 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 392,7 \text{ mm}^2 \geq 332,5 \text{ mm}^2$$

Karena pada perhitungan pracetak tulangan arah X diperlukan Ø10-100, maka tulangan tumpuan X dipasang Ø10-100

- **Arah Y**

$$M_{ly} = 8050000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{8050000 \text{ Nmm}}{0,9} = 8944283,25 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8944283,25}{0,9 \times 1000 \times 85^2} = 1,24$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 1,24}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,003$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0035 < 0,003 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,003 = 0,0041$$

$$As_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,0041 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm}$$

$$= 349,42 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{\min} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y}$$

$$As_{\min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{400}$$

$$As_{\min} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari As_{\min}

$As_{\text{perlu}} > As_{\min}$ Maka menggunakan As_{perlu}

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{As_{\text{perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{349,415}$$

$$S = 194 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} > A_{s_{\text{perlu}}} = 392,7 \text{ mm}^2 > 349,41 \text{ mm}^2$$

Penulangan Susut

- Arah X dan Y

Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton tidak boleh kurang dari $\rho_{\text{perlu}} = 0,0018$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{susut}}} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Batas spasi tulangan susut

$$S \leq 5h \text{ atau } S_{\text{max}} \leq 450 \text{ mm}$$

Dipakai Tulangan Ø10

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{216}$$

$$S = 363 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Cek Batas Spasi Tulangan

$$S_{max} = 5 \times 120\text{mm} = 600\text{mm}$$

$$200 \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$200 \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Cek luasan Tulangan Ø10-200

$$\text{As perlu} < \text{As ada}$$

$$216 \text{ mm}^2 < 392,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi})$$

Lebar Lajur pemasangan tulangan susut :

$$\text{Ke arah bentang panjang} = 0,19 \times 7,5 \text{ m} = 1,425 \text{ m}$$

$$\text{Ke arah bentang pendek} = 0,19 \times 4,05 \text{ m} = 0,8 \text{ m}$$

4.4.2 Perencanaan Balok Anak

a. Data-data perencanaan tulangan balok :

- Tipe balok : BA (30/50)
- As balok : As 2' (C-D)
- Bentang balok (L balok) : 7500 mm
- Dimensi balok (b balok) : 300 mm
- Dimensi balok (h balok) : 500 mm
- Bentang kolom (L kolom) : 5000 mm
- Dimensi kolom (b kolom) : 750 mm
- Dimensi kolom (h kolom) : 750 mm
- Kuat tekan beton (f_c') : 35 MPa
- Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) : 400 MPa
- Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) : 240 MPa
- Diameter tulangan lentur (D lentur) : 19 mm
- Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm
- Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) : 13 mm
- Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)
- Jarak spasi tulangan antar lapis : 25 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)

- Tebal selimut beton (t decking) : 50 mm (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.(c))
- Faktor β_1 : 0,85
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3))
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))
- Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka tinggi efektif balok :

- Untuk tulangan 1 lapis :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 1/2 \phi \text{ tul lentur} \\ &= 500 - 50 - 12 - (1/2 \cdot 19) \\ &= 428,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + 1/2 \phi \text{ tul lentur} \\ &= 50 + 12 + (1/2 \cdot 19) \\ &= 71,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

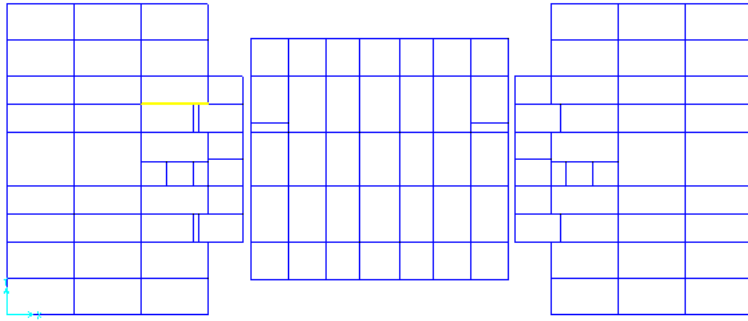
$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c}}{F_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}}{400 \text{ Mpa}} = 0,0037$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 35 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0379 \end{aligned}$$

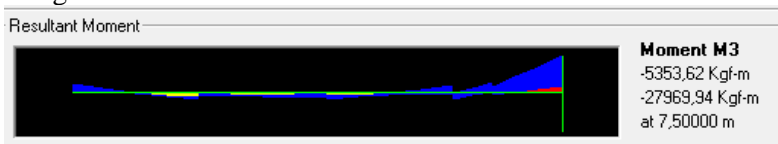
$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0379 = 0,0284$$

ρ_{min} dipilih yang paling besar yaitu 0,0037

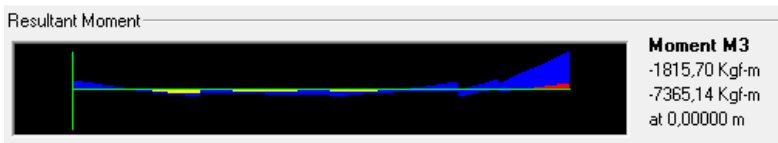


Gambar 4. 14 Denah Pembalok

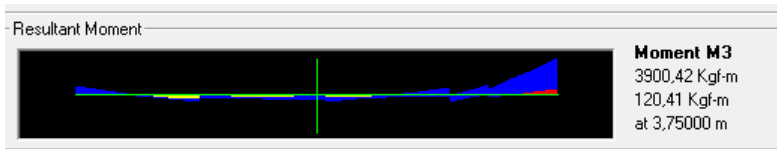
Dari analisa SAP2000 didapat nilai gaya dalam maksimum sebagai berikut:



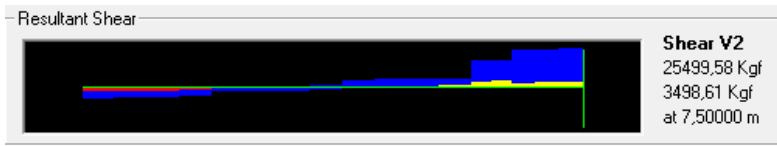
Gambar 4. 15 Momen tumpuan kanan akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)



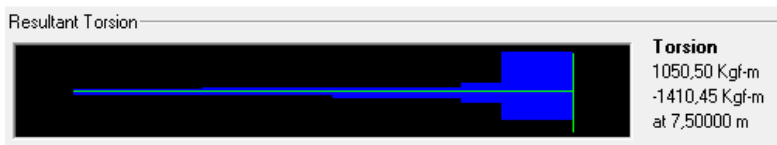
Gambar 4. 16 Momen tumpuan kiri akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)



Gambar 4. 17 Momen lapangan akibat kombinasi (1,2 D+1,6 L)



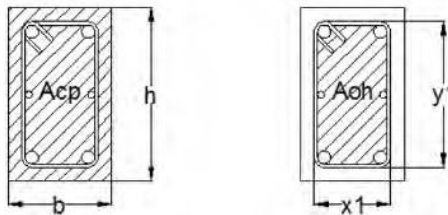
Gambar 4. 18 Geser maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)



Gambar 4. 19 Torsi maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)

4.4.2.1 Perhitungan Penulangan Torsi

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



Gambar 4. 1 Luasan A_{cp} dan P_{cp}

Luasan yang diatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 300 \times 500 \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luas irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{decking} - 2\phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{decking} - 2\phi_{geser}) \\ &= (300 - 2.50) - 2.12 \times (500 - (2.50) - 2.12) \\ &= 66176 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times ((b_{balok} - 2t_{decking} - 2\phi_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{decking} - 2\phi_{geser})) \\ &= 2 \times ((300 - 2.50) - 2.12) + (500 - (2.50) - 2.12)) \\ &= 1104 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate

Akibat Kombinasi

$$(1,2 + 0,2 S_d)DL + 1,0LL + 1,3EQX + 0,39EQY$$

$$T_u = 14104500 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{14104500 \text{ Nmm}}{0,75} \\ &= 18806000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 Tu_{min} &= \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \times \frac{150000^2}{1600} \\
 &= 5178880,779 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 T_{u_{max}} &= \emptyset 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times \frac{150000^2}{1600} \\
 &= 20590730,81 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{umin} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{umin} < T_u$

$5178880,779 \text{ Nmm} < 14104500 \text{ Nmm}$

(memerlukan tulangan puntir)

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang harus memenuhi ketentuan 11.5.3.1 Sebagai berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{B_w \cdot d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 A_o h^2} \right)^2} \leq \emptyset \left(\frac{V_c}{B_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f_c} \right)$$

Dengan V_c dihitung dari persamaan berikut :

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{35} \times 300 \times 439$$

$$V_c = 120672,348 \text{ N}$$

$$\sqrt{\left(\frac{106915,84}{300 \cdot 439}\right)^2 + \left(\frac{8776265 \times 1200}{1,7 \times 80000^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{120672,34}{300 \cdot 439} + 0,66\sqrt{35}\right)$$

$$1,2755 \leq 3,355 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 80000 \\ &= 56249,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi} \\ &= \frac{18806000 \text{ Nmm}}{2 \times 56249,6 \times 240 \times \cot 45} \\ &= 0,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$A_L = \frac{A_t}{s} P h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

$$A_L = 0,67 \times 1104 \times \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45$$

$$= 286,05 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$A_{L \text{ min}} = \frac{0,42 \sqrt{f_c'} x A_{cp}}{F_y} - \left(\frac{A_t}{s} \right) P h \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Dengan $\frac{A_t}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{b_w}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{300}{400} = 0,131$$

$$A_{L \text{ min}} = \frac{0,42 \sqrt{35} \times 150000}{400} - (0,67) \times 1104 \times \frac{4000}{400}$$

$$A_{L \text{ min}} = 786,88 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{L \text{ perlu}} \leq A_{L \text{ min}} \quad \text{maka gunakan } A_{L \text{ min}}$$

$$A_{L \text{ perlu}} \geq A_{L \text{ min}} \quad \text{maka gunakan } A_{L \text{ perlu}}$$

$$286,05 \text{ mm}^2 \leq 786,88 \text{ mm}^2 \quad (\text{maka gunakan } A_{L \text{ min}})$$

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar 430,79 mm²

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{A_L}{4} = \frac{786,88 \text{ mm}^2}{4} = 196,72 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi samping (kanan dan kiri) balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 196,72 mm²

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi samping)

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{196,72 \text{ mm}^2}{132,79 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,48 \quad \text{Dipasang tulangan puntir 2 D13}$$

Kontrol luasan tulangan pasang puntir

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan } D \text{ puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \pi 13^2 \\ &= 265,57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$265,57 \text{ mm}^2 \geq 196,72 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir sisi samping (kanan dan kiri) di tumpuan dan lapangan sebesar 2 D 13.

4.4. 2.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KIRI

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} X_b &= \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) x 428,5 \\ &= 257,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 257,1$$

$$= 192,82 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = h - d$$

$$= 500 - 428,5$$

$$= 71,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 74 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 35 \times 300 \times 0,85 \times 74$$

$$= 561382 \text{ N}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{F_y}$$

$$= \frac{561382 \text{ N}}{400}$$

$$= 1403,46 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 1403,46 \times 400 \times \left(428,5 - \frac{0,85 \times 74}{2} \right)$$

$$= 210546506,63 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu tumpuan} = 73651400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{73651400 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$M_n = 81834888,89 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 81834888,89 \text{ Nmm} - 210546506,63 \text{ Nmm} \\ &= -128711617,74 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} = -128711617,74 \text{ Nmm} \leq 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{356840400}{0,9} = 396489555,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{396489555,6}{400 \times 506,5^2} = 1,485$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13,45} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 1,485}{400}} \right] \\ &= 0,00381 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0038 < 0,0284$ (Memenuhi)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0038 \times 300 \times 428,5 \\ &= 490,01 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$$As_{perlu} = 490,01 + 196,72$$

$$As_{perlu} = 686,73 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan \text{ Dlentur } r}$$

$$n = \frac{686,73 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,42 \approx 3 \text{ Dipasang tulangan lentur 3 D19}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 1 lapis :

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As_{pasang} = n_{pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 850,93 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As_{pasang} > As_{perlu}$$

$$850,93 \text{ mm}^2 > 686,73 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,3 As$$

$$= 0,3 \times 850,93 \text{ mm}^2$$

$$= 255,28 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \ D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{255,28 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,2 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D19}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \ D \ \text{lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1418,21 \text{ mm}^2 \\ &= 567,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$567,29 \text{ mm}^2 > 255,28 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 4 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{3-1}$$

$$S_{tarik} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (4 \times 19)}{3-1}$$

$$= 59,5 \text{ mm}$$

$S_{tarik} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$59,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \emptyset b)}{n-1}$$

$$S_{tekan} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 12) - (2 \times 19)}{2-1}$$

$$= 138 \text{ mm}$$

$$S_{tekan} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$138 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ($S \geq 25\text{mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left(\frac{A_s \times F_y - A_s' \times f_s'}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1521,14 \times 400) - 760,57 \times 98,63}{0,85 \times 35 \times 400} \right)$$

$$a = 72,01 \text{ mm}$$

$$Mn_{pasang} = A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1521,14 \times 400 \times \left(439 - \frac{72,01}{2} \right)$$

$$= 245204783,76 \text{ Nmm}$$

$$\text{Cek : } Mn_{pasang} > Mn_{perlu}$$

$$245204783,76 \text{ Nmm} > 207385102,19 \text{ Nmm (Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/50) As 2' (C-D) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 4 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 3 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis : 2 D19

DAREAH TUMPUAN KANAN

Diambil momen yang terbesar, akibat dari kombinasi :
(1,2+0,2 Sds)DL+1,0LL+0,39 EQX+1,3 EQY

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600+F_y} \right) x d \\ &= \left(\frac{600}{600+400} \right) x 428,5 \\ &= 263 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} Xmax &= 0,75 x Xb \\ &= 0,75 x 263 \\ &= 198 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} Xmin &= h - d \\ &= 500 x 428,5 \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$Xrencana = 120 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f'c' b \beta_1 Xrencana \\ &= 0,85 x 35 x 300 x 0,85 x 120 \\ &= 910350 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{910350 \text{ N}}{400} \\ &= 2275,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc x F_y x \left(d - \frac{\beta_1 x Xr}{2} \right) \\ &= 2275,88 x 400 x \left(428,5 - \frac{0,85 x 120}{2} \right) \\ &= 323629425 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu tumpuan} = 279699400 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{279699400 \text{ Nmm}}{0,9}$$

$$Mn = 310777111,11 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 310777111,11 \text{ Nmm} - 323629425 \text{ Nmm} \\ &= -12852313,89 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $Mns \leq 0$

$$Mns = -12852313,89 \text{ Nmm} \leq 0$$

(Tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 35 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0379 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0315 = 0,0284$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{279699400 \text{ Nmm}}{0,9} = 310777111,11 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{186058675,56}{300 \times 439^2} = 6,269$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{16,20} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 3,218}{400}} \right] \\
 &= 0,01
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,01 < 0,0236$ (Memenuhi)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,01 \times 300 \times 428,5 \\
 &= 1219,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 A_{s\text{perlu}} &= 1219,5 \text{ mm}^2 + 196,72 \text{ mm}^2 \\
 A_{s\text{perlu}} &= 1416,22 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_{s\text{D19}}} \\
 n &= \frac{1416,22 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$n = 4,993 \approx 5 \text{ Dipasang tulangan lentur 5 D19}$$

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 1418,21 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{pasang}} &> A_{s\text{perlu}} \\
 1418,21 \text{ mm}^2 &> 1416,22 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang (A_s') Tulangan Lentur Tekan

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 A_s \\
 &= 0,3 \times 1416,22 \text{ mm}^2 \\
 &= 424,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ lentur}} \\
 n &= \frac{424,87 \text{ mm}^2}{283,643} \\
 n &= 1,5 \approx 3 \text{ buah} \quad \text{Dipasang tulangan lentur 3 D19}
 \end{aligned}$$

Kontrol Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19 \\
 &= 850,93 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &> A_s \text{ perlu} \\
 850,93 \text{ mm}^2 &> 424,87 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis
 $S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis
 Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 5 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 3 D19

- Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{tarik} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\
 S_{tarik} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1} \\
 &= 27 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{tarik} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$27 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} (\text{memenuhi})$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tekan} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 59,5 \text{ mm}$$

$S_{tekan} \geq$ Ssyarat agregat

$59,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ($S \geq 25\text{mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left(\frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{(1521,14 \times 400)}{0,85 \times 35 \times 300} \right)$$

$$a = 82,14 \text{ mm}$$

$$Mn_{pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 1521,14 \times 400 \times \left(439 - \frac{82,14}{2} \right)$$

$$= 242123985,05 \text{ Nmm}$$

Cek : $Mn_{pasang} > Mn_{perlu}$

$242123985,05 \text{ Nmm} > 186058675,56 \text{ Nmm}$ (Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/50) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 5 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 1 lapis : 5 D19
- Tulangan tekan 1 Lapis : 3 D19

DAERAH LAPANGAN**Garis netral dalam kondisi balance**

$$\begin{aligned}
 Xb &= \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\
 &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) x 428,5 \\
 &= 263 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{max} &= 0,75 x Xb \\
 &= 0,75 x 263 \\
 &= 198 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned}
 X_{min} &= h - d \\
 &= 500 - 428,5 \\
 &= 71,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 94 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\
 &= 0,85 x 35 x 300 x 0,85 x 94 \\
 &= 713107,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 &= \frac{713107,5 \text{ N}}{400} \\
 &= 1782,77 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= Asc x F_y x \left(d - \frac{\beta_1 x X_r}{2} \right) \\
 &= 1782,77 x 400 x \left(428,5 - \frac{0,85 x 94}{2} \right) \\
 &= 261389554,13 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu lapangan} = 39004200 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 Mn &= \frac{39004200 \text{ Nmm}}{0,9} \\
 Mn &= 43338000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 43338000 \text{ Nmm} - 261389554,13 \text{ Nmm} \\
 &= -218051554 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka, $Mns \leq 0$

$$Mns = -218051554 \text{ Nmm} \leq 0$$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,54$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 35 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,0379
 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0379 = 0,0284$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{39004200 \text{ Nmm}}{0,9} = 43338000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{43338000 \text{ Nmm}}{300 \times 439^2} = 0,874$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{13,54} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,54 \cdot 0,874}{400}} \right]$$

$$= 0,0022$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,0022 < 0,0236$ (pakai ρ_{\min})

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} As &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 300 \times 428,5 \\ &= 475,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned} As_{\text{perlu}} &= As + \frac{Al}{4} \\ As_{\text{perlu}} &= 475,32 \text{ mm}^2 + 196,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$As_{\text{perlu}} = 672,04 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As_{\text{perlu}}}{\text{Luasan D lentur}} \\ n &= \frac{672,04 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$n = 3,4 \approx 3 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 3 D19}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 1 lapis :

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 7850,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As_{\text{pasang}} &> As_{\text{perlu}} \\ 7850,93 \text{ mm}^2 &> 672,04 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned} As' &= 0,3 As \\ &= 0,3 \times 672,04 \text{ mm}^2 \\ &= 255,28 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\ n &= \frac{255,28 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2} \end{aligned}$$

$$n = 0,9 \approx 2 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 2 D19}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} As \text{ pasang} &> As \text{ perlu} \\ 567,29 \text{ mm}^2 &> 255,28 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 2 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 2 D19

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{tarik} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$\begin{aligned} S_{tarik} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{tarik} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$59,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{tekan} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 156 \text{ mm}$$

$$S_{tekan} \geq \text{Ssyarat agregat}$$

$$156 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ($S \geq 25\text{mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 1 lapis

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left(\frac{A_s \cdot F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{760,57 \times 400}{0,85 \times 35 \times 300} \right)$$

$$a = 41,07 \text{ mm}$$

$$Mn_{pasang} = A_s \cdot F_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 760,57 \times 400 \times \left(439 - \frac{41,07}{2} \right)$$

$$= 127309167,69 \text{ Nmm}$$

$$\text{Cek : } Mn_{pasang} > Mn_{perlu}$$

$$127309167,69 \text{ Nmm} > 88097707,04 \text{ Nmm (Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok anak (30/50) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3 D19 dan tulangan tekan 2 D19 dengan susunan sebagai berikut:

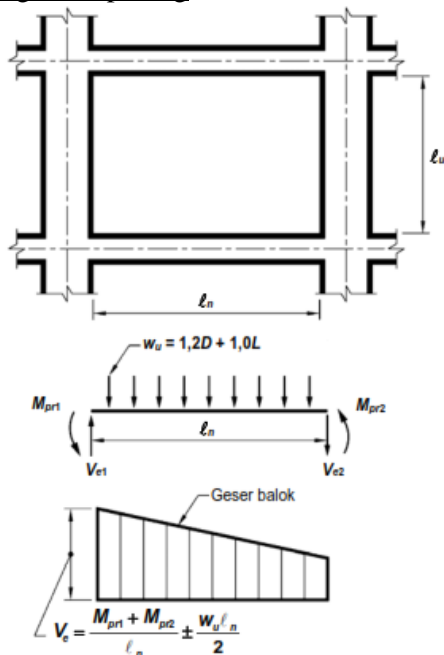
- Tulangan tarik 1 lapis : 3 D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis : 2 D19

4.4.2.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : BI (40/60)
 Dimensi balok (b balok) : 400 mm
 Dimensi balok (h balok) : 600 mm
 Kuat tekan beton (f_c') : 35 MPa
 Kuat leleh tul. geser (f_{yv}) : 400 MPa
 Diameter tul. geser (ϕ geser) : 10 mm
 β_1 : 0,85
 Faktor reduksi geser (ϕ) : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (40/60) As 2(E-f), diperoleh :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4. 20 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMK

Hitung Probable Moment Capacities (Mpr)

Probable Moment Capacities (Mpr) diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

Tumpuan kanan

As pakai tulangan tarik 5 D19 = 1418,21 mm²

As pakai tulangan tekan 3 D19 = 850,93 mm²

Tumpuan kiri

As pakai tulangan tarik 5 D19 = 1418,21 mm²

As pakai tulangan tekan 3 D19 = 850,93 mm²

Perhitungan Mpr untuk tulangan tumpuan kiri (atas)

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\
 &= \frac{1,25 \cdot 1418,21 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} \\
 &= 79,45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= 1,25 \cdot A_s \cdot F_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 1418,21 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(506,5 - \frac{119,8}{2} \right) \\
 &= 275682498,11 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan Mpr selanjutnya ditampilkan dalam tabel 4.12

Tabel 4. 16 Mpr balok dari luasan tulangan tumpuan kiri dan kanan

	LOKASI		TUL.	As	a	Mpr
Tumpuan	KIRI	ATAS	10	1418,21	79,45	275682498.11
		BAWAH	5	850,93	47,67	172170277.89
	KANAN	ATAS	10	1418,21	79,45	275682498.11
		BAWAH	5	850,93	47,67	172170277.89

Reaksi geser balok akibat kombinasi 1,2 D+1L didapatkan dari SAP sebesar



Gambar 4. 21 Geser balok akibat kombinasi 1,2 D+ 1 L

$$V_g = 179050 \text{ N}$$

- Struktur bergoyang ke kanan

$$V_{\text{sway-ka}} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{l_n} = \frac{275682498,11 \text{ Nmm} + 172170277,89 \text{ Nmm}}{7350 \text{ mm}} = 66348 \text{ N}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok

$$= 179050 \text{ N} - 66348 \text{ N} = 112701 \text{ N}$$

Arah geser ke bawah

Total reaksi geser di ujung kanan balok

$$= 179050 \text{ N} + 66348 \text{ N} = 245398 \text{ N}$$

Arah geser ke atas

- Struktur bergoyang ke kiri

$$V_{\text{sway-ka}} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{l_n} = \frac{275682498,11 \text{ Nmm} + 172170277,89 \text{ Nmm}}{7350 \text{ mm}} = 66348 \text{ N}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok

$$= 179050 \text{ N} - 66348 \text{ N} = 112701 \text{ N}$$

Arah geser ke bawah

Total reaksi geser di ujung kanan balok

$$= 179050 \text{ N} + 66348 \text{ N} = 245398 \text{ N}$$

Arah geser ke atas

b. Sengkang untuk Gaya Geser

V_c harus diambil=0 pada perencanaan pada daerah sendi plastis apabila :

1. Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ atau lebih kuat geser perlu maksimum V_u di sepanjang bentang,

Arah gerakan gempa	V_{sway}	Left		Right	
		V_u	$\frac{1}{2}V_u$	V_u	$\frac{1}{2}V_u$
kanan	66348 N	112701 N	56350	245398 N	56350
kiri	66348 N	245398 N	127679	112701 N	127679

Jadi diperoleh bahwa V_{sway} melebihi $\frac{1}{2} V_u$

2. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{20} = 360000 \text{ N}$$

gaya aksial tekan akibat gempa = 245398 N < 360000 N

Karena memenuhi kedua kondisi diatas maka perencanaan geser pada balok tidak memperhitungkan V_c atau $V_c=0$

- **Muka kolom interior kiri**

$V_u \text{ max} = 245398 \text{ N}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{245398 \text{ N}}{0,75} - 0 = 327198 \text{ N}$$

Nilai V_s maksimum :

$$V_{s_{\text{max}}} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 506,5 = 395537,26 \text{ N}$$

$V_s < V_{s_{\text{max}}}$ OK, syarat V_s maksimum terpenuhi

Dicoba diameter tulangan sengkang Ø12 dengan 2 kaki ($A_v = 196,76 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{196,76 \cdot 400 \cdot 509}{395537,26} = 121,04 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } s = 100 \text{ mm}$$

Nilai V_s jika dipakai $s = 100 \text{ mm}$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{196,76 \cdot 400 \cdot 506,5}{100} = 478368 \text{ N}$$

Jadi, digunakan sengkang **2 kaki Ø12 – 100 mm**

- **Muka kolom interior kanan**

$V_u \text{ max} = 245398 \text{ N}$

Maka akan sama seperti muka kolom interior kiri, diperlukan 2 kaki **Ø12** untuk sengkang dengan spasi **100 mm**.

- **Ujung zona sendi plastis ke tengah bentang**

$V_u \text{ max} = (\text{terletak } 2h \text{ dari muka kolom}) = 245398 \text{ N} \cdot (3,75\text{m} - 1,2\text{m}) / 3,75 = 172687 \text{ N}$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{199632,02}{0,75} - 0 = 266176 \text{ N}$$

Dicoba diameter tulangan sengkang Ø12 dengan 2 kaki ($A_v = 196,29 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{196,29 \cdot 400 \cdot 506,5}{266176} = 208 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } s = 200 \text{ mm}$$

Nilai V_s jika dipakai $s = 200 \text{ mm}$

Jadi, digunakan sengkang **2 kaki D12 – 200 mm**

SNI pasal 21.5.3.1 mensyaratkan bahwa sengkang harus dipasang sepanjang jarak $2h$ dari muka kolom terdekat
 $2h = 2 \cdot 600 = 1200 \text{ mm}$

SNI pasal 21.5.3.2 mensyaratkan bahwa sengkang pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat dan yang berikutnya dipasang dengan spasi terkecil di antara:

- $d/4 = 505,6/4 = 132,1 \text{ mm}$
- $6 \times \text{diameter tulangan longitudinal terkecil} = 6 \times 19 \text{ mm} = 118 \text{ mm}$
- 150 mm
- Tapi tidak perlu kurang dari 100 mm . Dengan demikian tulangan sengkang di daerah sendi plastis yaitu disepanjang

2h dari muka kolom menggunakan sengan tertutup **2 kaki Ø 12-100.**

4.4.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.***

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3.*** dan faktor modifikasi dari ***pasal 12.2.4.*** dan ***pasal 12.2.5.***

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

- Perhitungan Panjang Penyaluran :

$$ld = \left[\frac{fy}{1,1\lambda \times \sqrt{fc'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{db}} \right] db$$

Dimana,

fc' = kuat tekan beton (35 Mpa)

fy = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

Ψ_t = faktor lokasi penulangan (1,3)

Ψ_e = faktor pelapis (1,5)

Ψ_s = faktor ukuran tulangan (1,0)

λ = faktor beton agregat ringan (1,0)

db = diameter nominal tulangan (19)

C_b = Yang lebih kecil :

a) Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

$$C_b = \text{decking} + \text{sengkang} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 50 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm})$$

$$C_b = 61 \text{ mm}$$

b) Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

$$C_b = S_{\max} + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur}) + (\frac{1}{2} \times D \text{ lentur})$$

$$C_b = 25 \text{ mm} + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm}) + (\frac{1}{2} \times 19 \text{ mm})$$

$$C_b = 47 \text{ mm}$$

K_{tr} = Indek tulangan tranfersal (0)

$$ld = \left[\frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 1,5 \times 1,0}{\frac{47+0}{19}} \right] \times 19$$

$$ld = 803 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}$$

$$803 \text{ mm} > 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam ld diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan. **[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.5]**

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{1644,03}{1901,43} \right] \times 803 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ld = 653 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 655 mm

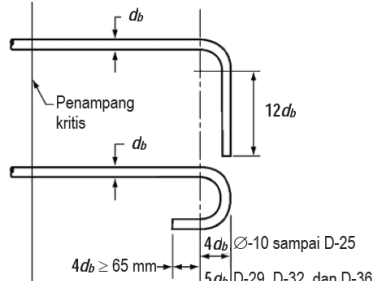
Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri kait standart ldh ditentukan dari **SNI 03-2847-2013 pasal**

12.5.2. dan faktor modifikasi dari *pasal 12.5.3*. Tetapi tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart

- Perhitungan Penyaluran Kait:



Gambar 4. 2 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart

$$\text{Untuk batang tulangan ulir } ldh = \frac{0,24 \times \Psi_e \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \times d_b$$

Dimana,

- fc' = kuat tekan beton (35 Mpa)
- fy = kuat leleh tulangan (400 Mpa)
- Ψ_e = faktor pelapis (1,2)
- λ = faktor beton agregat ringan (1,0)
- d_b = diameter nominal tulangan (19)

$$ldh = \frac{0,24 \times 1,2 \times 400}{1,0 \times \sqrt{35}} \times 19$$

$$ldh = 338 \text{ mm}$$

- Perhitungan Reduksi Penyaluran Kait:

Reduksi dalam ldh harus diizinkan untuk dikalikan faktor faktor sesuai dengan *SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3*.

Untuk kait 90 derajat dikalikan 0,8

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3 (b)]

$$ldh_{reduksi} = ldh \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 338 \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 271 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

$$8 d_b = 152 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka panjang penyaluran kait tulangan dalam kondisi tarik 300 mm

Panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 198 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan ldc dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.3.3.** Tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Untuk batang tulangan ulir ldc harus diambil sebesar yang terbesar dari :

$$a. \quad ldc = \left(\frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$ldc = \left(\frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{35}} \right) \times 19$$

$$ldc = 308 \text{ mm}$$

$$b. \quad ldc = (0,043 fy) d_b$$

$$ldc = (0,043 \times 400) \times 19$$

$$ldc = 327 \text{ mm}$$

Maka ldc dipilih 327 mm

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam l_{dc} diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.3]

$$\text{Reduksi } l_{dc} = \left[\frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } l_{dc} = \left[\frac{570,43}{760,57} \right] \times 327 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } l_{dc} = 231 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

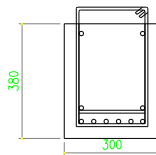
Panjang kait

$$4 d_b + 4 d_b = 4(19) + 4(19) = 176 \text{ mm}$$

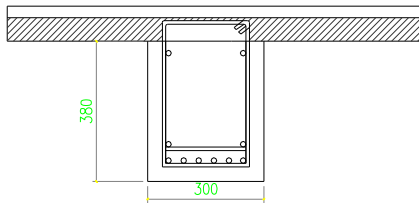
4.2.2.1 Kontrol Balok Anak Pracetak

- Dimensi balok anak : 30× 50 cm
- Mutu beton (f_c') : 30 MPa
- Mutu baja (f_y) : 400 MPa
- Tulangan lentur : D19
- Tulangan sengkang : Ø10

Dalam perhitungan bab ini, akan dilakukan perhitungan sebelum komposit dan perhitungan sesudah komposit. Berdasarkan kondisi tersebut maka tersapat dua dimensi balok anak yaitu dimensi sebelum komposit dan dimensi sesudah komposit.



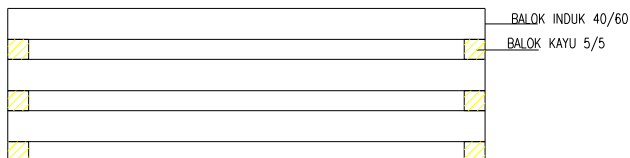
Gambar 4. 22 Balok Anak Pracetak



Gambar 4. 23 Balok Anak setelah komposit
Perhitungan Kontrol Balok Anak pracetak

4.4.3.4.1 Kontrol Penumpukan

Untuk menghindari kerusakan beton pracetak akibat penumpukan yang berlebihan di lapangan, maka diperlukan standar jumlah penumpukan. Jumlah penumpukan yang diizinkan dalam perencanaan ini adalah 3 tumpukan dengan masing- masing balok diberi tumpuan balok kayu pada setiap ujungnya seperti terlihat pada gambar. Hal ini menyebabkan terjadinya momen pada daerah lapangan sehingga perlu di cek apakah momen yang terjadi lebih besar dari tulangan lapangan terpasang. Penumpukan dilakukan ketika umur beton 3 hari dengan $f_{ci} = 0,46$ $f_c = 0,46.35$ Mpa, $f_{ci} = 16,1$ Mpa



a. Data Perencanaan

$$\begin{aligned}
 b &= 300 \text{ mm} & d_{\text{pra}} &= h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk} \\
 h_{\text{tot}} &= 500 \text{ mm} & &= 380 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm} \\
 h_{\text{pra}} &= 480 \text{ mm} \\
 t_{\text{pelat}} &= 120 \text{ mm} \\
 t_{\text{sel}} &= 40 \text{ mm} \\
 L &= 7350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

b. Pembebanan

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri Precast } q &= n \text{ tumpukan} \cdot b \cdot h \cdot BJ \\
 &= 3 \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 1382 \text{ kg/m} \\
 Q_u &= q \cdot 1, 2 \\
 &= 1659 \text{ kg/m} \\
 \text{Beban Pekerja } P &= 100 \text{ kg} \\
 P_u &= P \cdot 1,6 \\
 &= 160 \text{ kg} \\
 M &= \frac{1}{8} \cdot Q_u \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_u \cdot L \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 1659 \text{ kg/m} \cdot (7,35 \text{ m})^2 + \frac{1}{4} \cdot 160 \text{ kg} \cdot 7,35 \text{ m} \\
 &= 11496,11 \text{ kgm} \\
 \text{Faktor kejut} &= 1,5 \\
 M_u &= 17244,158 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Perhitungan penulangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{17244,158 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 19160,17 \text{ kgm} \\
 &= 191601760 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{191601760 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,651 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 f_c} = 29,199
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.29,199 \cdot 2,651}{400}} \right] \\ &= 0,00744\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00744 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\ &= 1264,54 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\begin{aligned}\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \\ &= \frac{183,92}{\frac{1}{4} \pi \cdot 19^2} \\ &= 4,17 \sim 5 \text{ tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 5 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat penumpukan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.4.3.4.2 Kontrol Pengangkatan

Balok induk pracetak dibuat di pabrik sehingga harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik angkat dan tulangan angkat tambahan harus dipasang untuk menahan momen akibat pengangkatan. Pengangkatan dilakukan ketika umur beton 3 hari dengan $f_{ci} = 0,46 f_c = 0,46 \cdot 35 \text{ Mpa}$, $f_{ci} = 16,1 \text{ Mpa}$. Berdasarkan PCI Design Handbook (PCI fig. 5. 2.8), momen akibat pengangkatan diberikan sebagai berikut

$$Y_c = Y_t + 50 \text{ mm}$$

$$= 290 \text{ mm}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4.290}{7350 \text{ tg } 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{240}{240} \left(1 + \frac{4.290}{7350 \text{ tg } 45^\circ} \right)} \right)}$$

$$= 0,2126$$

$$\text{Posisi titik angkat} = X \cdot L$$

$$= 0,2126 \cdot 7350 \text{ mm}$$

$$= 1563 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$$

$$W_{\text{balok}} = b \times h \times L_{\text{balok}} \times BJ_{\text{beton}}$$

$$= 0,4 \text{ m} \times 0,48 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 460,8 \text{ kg/m}$$

b. Perhitungan tulangan lentur saat pengangkatan

Daerah lapangan

$$\begin{aligned} +M &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \text{ tg } \theta} \right) \\ &= \frac{460,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} (7,35 \text{ m})^2}{8} \left(1 - 4 \cdot 0,2126 + \frac{4.290 \text{ mm}}{7,35 \text{ m tg } 45^\circ} \right) \\ &= 1434,99 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= M \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 1434,99 \text{ kgm} \times 1,5 \\ &= 2152,49 \text{ kgm} = 21524900 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{21524900 \text{ Nmm}}{0,9} = 23916534,24 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{23916534,24 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 0,331$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 29,199$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 29,199 \cdot 0,331}{400}} \right] \\ &= 0,00083 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00083 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\ &= 183,92 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 12 mm.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} \\ &= \frac{183,92}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2} \\ &= 1,626 \sim 2 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 196,195 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 2 Ø 12 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pengangkatan tidak perlu tulangan tambahan.

Daerah tumpuan

$$\begin{aligned} -M &= \frac{W \cdot X^2 \cdot L^2}{2} \\ &= \frac{460,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 0,2126^2 \cdot 7,35 \text{ m}^2}{2} \\ &= 562,556 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= M \times 1,5 \text{ (faktor kejut)} \\ &= 562,556 \text{ kgm} \times 1,5 \\ &= 843,834 \text{ kgm} = C \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8438340 \text{ Nmm}}{0,9} = 937593,03 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{937593,03 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 0,12977$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 29,199$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 29,199 \cdot 0,12977}{400}} \right] \\ &= 0,00033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00033 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\ &= 88,437 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 10 mm.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \\ &= \frac{88,437}{\frac{1}{4} \pi \cdot 10^2} \\ &= 1,13 \sim 2 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi pada daerah tumpuan dipasang tulangan lentur tambahan Ø 10

c. Perhitungan Tulangan Angkat

Mutu baja pengangkatan BJ 37

Direncanakan profil WF 100.100.6.8

$$A = 21,9 \text{ cm}^2$$

$$W = 17,2 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 383 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 134 \text{ cm}^4$$

Pembebanan :

$$\text{Balok} = qD_{\text{balok}} \times L = 0,4 \times 0,48 \times 2400 \times 7,35 = 3387 \text{ kg}$$

$$\text{Profil} = W_{\text{profil}} \times L = 17,2 \text{ kg/m} \times 7,35 \text{ m} = 126,4 \text{ kg+}$$

$$W_{\text{total}} = 3513 \text{ kg}$$

Gaya pada titik angkat (P)

$$T \sin \Theta = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

Dengan k= 1, 2

$$P = \frac{1,2 \times 1,2 \times 3513}{2} \\ = 2530 \text{ kg} = 25300 \text{ N}$$

Menurut PBBI pasal 2. 2. 2 tegangan ijin tarik baja adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = f_y/1,5 = 400/1,5 = 267 \text{ Mpa}$$

$$\emptyset \text{ tul. Angkat} \geq \sqrt{\frac{4.P_u}{\sigma_{\text{tarik ijin}} . \pi}}$$

$$\emptyset \text{ tul. Angkat} > \sqrt{\frac{4 . 25300 \text{ N}}{267 \text{ Mpa} . \pi}}$$

$$\emptyset \text{ tul. Angkat} \geq 10,99 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan angkat diameter 12 mm

Penentuan kedalaman angkur berdasarkan analisa kekuatan pecah beton dari angkur terhadap gaya tarik

$$h_{\text{ef}} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c . \sqrt{f_c}}\right)^2} \quad \text{umur beton} = 7 \text{ hari} \text{---- } f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa} \\ = \sqrt[3]{\left(\frac{25300 \text{ N}}{10 . \sqrt{19,8 \text{ Mpa}}}\right)^2} \\ = 65,5 \text{ mm} \sim 70 \text{ mm}$$

4.4.3.4.3 Kontrol Pemasangan

Kontrol pemasangan (erection) adalah saat dimana balok setelah diangkat kemudian dipasang pada konsol. Pada kondisi

ini, balok harus mampu memikul berat sendirinya sebelum dicor secara monolit dengan pelat dan kolom. Berikut ini adalah perhitungan tulangan saat pemasangan. Pemasangan dilakukan saat umur beton 7 hari $f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$

a. Data Perencanaan

$$\begin{aligned} b &= 400 \text{ mm} & d_{\text{pra}} &= h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk} \\ h_{\text{tot}} &= 600 \text{ mm} & &= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm} \\ h_{\text{pra}} &= 480 \text{ mm} \\ t_{\text{pelat}} &= 120 \text{ mm} \\ t_{\text{sel}} &= 40 \text{ mm} \\ L &= 7350 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri Precast } q &= b \cdot h \cdot BJ \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 460,8 \text{ kg/m} \\ Q_u &= q \cdot 1, 2 \\ &= 553 \text{ kg/m} \\ \text{Beban Pekerja } P &= 100 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok anak precast } P &= b \cdot h \cdot BJ \cdot L_{\text{ba}} \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1846,8 \text{ kg} \\ P_u &= P_{\text{tot}} \cdot 1,6 \\ &= (100 \text{ kg} + 1846,8 \text{ kg}) \cdot 1,6 \\ &= 3114,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} \cdot Q_u \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_u \cdot L \\ &= \frac{1}{8} \cdot 460,8 \text{ kg/m} \cdot (7,35 \text{ m})^2 + \frac{1}{4} \cdot 3114,88 \text{ kg} \cdot 7,35 \text{ m} \\ &= 11496,11 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$M_u = 14186,44 \text{ kgm}$$

c. Perhitungan penulangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= \frac{14186,44 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 15763,7 \text{ kgm} \\
 &= 157627120 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{157627120 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,181$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 20,685$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{20,685} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 20,685 \cdot 2,181}{400}} \right] \\
 &= 0,00581
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00581 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\
 &= 986,415 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \\
 &= \frac{986,415}{\frac{1}{4} \pi \cdot 19^2} \\
 &= 3,5 \sim 4 \text{ tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \\
 &= 1134,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 4 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pemasangan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.4.3.4.4 Kontrol Pengecoran

Kontrol pengecoran adalah saat dimana balok pracetak yang telah terpasang dicor bersamaan dengan half slab dan sisa balok yang belu dicor . Pada kondisi ini, balok harus mampu memikul berat sendiri, berat beton basah, dan berat pekerja. Berikut ini adalah perhitungan tulangan saat pemasangan. Pemasangan dilakukan saat umur beton 7 hari $f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$

a. Data Perencanaan

$$\begin{aligned} b &= 400 \text{ mm} & d_{\text{pra}} &= h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk} \\ h_{\text{tot}} &= 600 \text{ mm} & &= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm} \\ h_{\text{pra}} &= 480 \text{ mm} \\ t_{\text{pelat}} &= 120 \text{ mm} \\ t_{\text{sel}} &= 40 \text{ mm} \\ L &= 7350 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri Precast } q &= b \cdot h \cdot BJ \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 460,8 \text{ kg/m} \\ Qu &= q \cdot 1, 2 \\ &= 553 \text{ kg/m} \\ \text{Beban Pekerja } P &= 100 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok anak precast } P &= b \cdot h \cdot BJ \cdot L_{\text{ba}} \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1846, 8 \text{ kg} \\ Pu &= P_{\text{tot}} \cdot 1,6 \\ &= (100 \text{ kg} + 1846, 8 \text{ kg}) \cdot 1,6 \\ &= 3114,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{8} \cdot Qu \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot Pu \cdot L \\ &= \frac{1}{8} \cdot 460,8 \text{ kg/m} \cdot (7,35 \text{ m})^2 + \frac{1}{4} \cdot 3114,88 \text{ kg} \cdot 7,35 \text{ m} \\ &= 11496,11 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$Mu = 14186,44 \text{ kgm}$$

c. Perhitungan penulangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= \frac{14186,44 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 15763,7 \text{ kgm} \\
 &= 157627120 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{157627120 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,181$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 20,685$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{20,685} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 20,685 \cdot 2,181}{400}} \right] \\
 &= 0,00581
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00581 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\
 &= 986,415 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

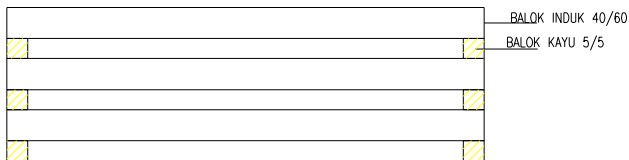
$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \\
 &= \frac{986,415}{\frac{1}{4} \pi \cdot 19^2} \\
 &= 3,5 \sim 4 \text{ tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \\
 &= 1134,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 4 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pemasangan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.5.3.4.1 Kontrol Penumpukan

Untuk menghindari kerusakan beton pracetak akibat penumpukan yang berlebihan di lapangan, maka diperlukan standar jumlah penumpukan. Jumlah penumpukan yang diizinkan dalam perencanaan ini adalah 3 tumpukan dengan masing- masing balok diberi tumpuan balok kayu pada setiap ujungnya seperti terlihat pada gambar. Hal ini menyebabkan terjadinya momen pada daerah lapangan sehingga perlu di cek apakah momen yang terjadi lebih besar dari tulangan lapangan terpasang. Penumpukan dilakukan ketika umur beton 3 hari dengan $f_{ci} = 0,46$ $f_c = 0,46.35$ Mpa, $f_{ci} = 16,1$ Mpa



d. Data Perencanaan

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d_{\text{pra}} = h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk}$$

$$h_{\text{tot}} = 600 \text{ mm}$$

$$= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pra}} = 480 \text{ mm}$$

$$t_{\text{pelat}} = 120 \text{ mm}$$

$$t_{\text{sel}} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 7350 \text{ mm}$$

e. Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri Precast } q &= n \text{ tumpukan. b.h. BJ} \\ &= 3. 0,4\text{m}.0,48\text{m}. 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1382 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= q \cdot 1, 2 \\ &= 1659 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Pekerja } P &= 100 \text{ kg} \\ P_u &= P \cdot 1,6 \\ &= 160 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 1/8. Q_u. L^2 + 1/4. P_u. L \\ &= 1/8. 1659 \text{ kg/m}. (7,35 \text{ m})^2 + 1/4. 160\text{kg}. 7,35 \text{ m} \\ &= 11496,11 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$M_u = 17244,158 \text{ kg}$$

f. Perhitungan penulangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= \frac{17244,158 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 19160,17 \text{ kgm} \\
 &= 191601760 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{191601760 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,651$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 29,199$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 29,199 \cdot 2,651}{400}} \right] \\
 &= 0,00744
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00744 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\
 &= 1264,54 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2}$$

$$= \frac{183,92}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$= 4,17 \sim 5 \text{ tulangan}$$

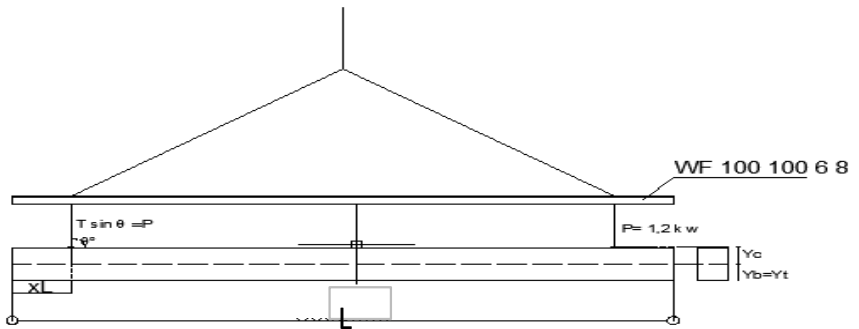
$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 1417,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 5 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat penumpukan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.5.3.4.2 Kontrol Pengangkatan

Balok induk pracetak dibuat di pabrik sehingga harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses pengangkatan. Titik angkat dan tulangan angkat tambahan harus dipasang untuk menahan momen akibat pengangkatan.

Pengangkatan dilakukan ketika umur beton 3 hari dengan $f_{ci} = 0,46 f_c = 0,46 \cdot 35 \text{ Mpa}$, $f_{ci} = 16,1 \text{ Mpa}$. Berdasarkan PCI Design Handbook (PCI fig. 5. 2.8), momen akibat pengangkatan diberikan sebagai berikut



Dimana

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right)$$

$$-M = \frac{W X^2 L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_a}{Y_b}} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \tan \theta} \right) \right)}$$

d. Data perencanaan:

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d_{\text{pra}} = h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \text{ tul. angk}$$

$$h_{\text{tot}} = 600 \text{ mm}$$

$$= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pra}} = 480 \text{ mm}$$

$$t_{\text{pelat}} = 120 \text{ mm}$$

$$t_{\text{sel}} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 7350 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Y_t = Y_b &= 0,5 \times (h - t_{\text{pelat}}) \\
 &= 0,5 \times (600 \text{ mm} - 120 \text{ mm}) \\
 &= 240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_c &= Y_t + 50 \text{ mm} \\
 &= 290 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X &= \frac{1 + \frac{4.290}{7350 \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{240}{240} \left(1 + \frac{4.290}{7350 \tan 45^\circ} \right)} \right)} \\
 &= 0,2126
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Posisi titik angkat} &= X \cdot L \\
 &= 0,2126 \cdot 7350 \text{ mm} \\
 &= 1563 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{balok}} &= b \times h \times L_{\text{balok}} \times B J_{\text{beton}} \\
 &= 0,4 \text{ m} \times 0,48 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 460,8 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

e. Perhitungan tulangan lentur saat pengangkatan

Daerah lapangan

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \tan \theta} \right)$$

$$= \frac{460,8 \frac{kg}{m} (7,35 \text{ m})^2}{8} \left(1 - 4.0,2126 + \frac{4.290 \text{ mm}}{7,35 \times \text{tg } 45^\circ} \right)$$

$$= 1434,99 \text{ kgm}$$

$$\text{Mu} = \text{M} \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$= 1434,99 \text{ kgm} \times 1,5$$

$$= 2152,49 \text{ kgm} = 21524900 \text{ Nmm}$$

$$\text{Mn} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{21524900 \text{ Nmm}}{0,9} = 23916534,24 \text{ Nmm}$$

$$\text{Rn} = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{23916534,24 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 0,331$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 29,199$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 29,199 \cdot 0,331}{400}} \right]$$

$$= 0,00083$$

$$\text{As} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00083 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm}$$

$$= 183,92 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan diameter 12 mm.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \\ &= \frac{183,92}{\frac{1}{4} \pi \cdot 12^2} \\ &= 1,626 \sim 2 \text{ tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \\ &= 196,195 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 2 Ø 12 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pengangkatan tidak perlu tulangan tambahan.

Daerah tumpuan

$$\begin{aligned} -M &= \frac{W X^2 L^2}{2} \\ &= \frac{460,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 0,2126^2 \cdot 7,35 \text{ m}^2}{2} \\ &= 562,556 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$Mu = M \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$= 562,556 \text{ kgm} \times 1,5$$

$$= 843,834 \text{ kgm} = C \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{8438340 \text{ Nmm}}{0,9} = 937593,03 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{937593,03 \text{ Nmm}}{400 . 425^2} = 0,12977$$

$$m = \frac{fy}{0,85 f_c} = 29,199$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m.Rn}{Fy}} \right] \\ &= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.29,199.0,12977}{400}} \right] \\ &= 0,00033 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As &= \rho . b . d \\ &= 0,00033 . 400 \text{ mm} . 425 \text{ mm} \\ &= 88,437 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 10 mm.

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{As}{\frac{1}{4} \pi . d^2}$$

$$= \frac{88,437}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2}$$

$$= 1,13 \sim 2 \text{ tulangan}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi pada daerah tumpuan dipasang tulangan lentur tambahan Ø 10

f. Perhitungan Tulangan Angkat

Mutu baja pengangkatan BJ 37

Direncanakan profil WF 100.100.6.8

$$A = 21,9 \text{ cm}^2$$

$$W = 17,2 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 383 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 134 \text{ cm}^4$$

Pembebanan :

$$\text{Balok} = q D_{\text{balok}} \times L = 0,4 \times 0,48 \times 2400 \times 7,35 = 3387 \text{ kg}$$

$$\text{Profil} = W_{\text{profil}} \times L = 17,2 \text{ kg/m} \times 7,35 \text{ m} = 126,4 \text{ kg} +$$

$$W \text{ total} = 3513 \text{ kg}$$

Gaya pada titik angkat (P)

$$T \sin \Theta = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

Dengan k = 1, 2

$$P = \frac{1,2 \times 1,2 \times 3513}{2}$$

$$= 2530 \text{ kg} = 25300 \text{ N}$$

Menurut PBBI pasal 2. 2. 2 tegangan ijin tarik baja adalah $f_y/1,5$

$$\sigma \text{ tarik ijin} = f_y/1,5 = 400/1,5 = 267 \text{ Mpa}$$

$$\emptyset \text{ tul. Angkat} \geq \sqrt{\frac{4.P_u}{\sigma \text{ tarik ijin} . \pi}}$$

$$\emptyset \text{ tul. Angkat} > \sqrt{\frac{4.25300 \text{ N}}{267 \text{ Mpa} . \pi}}$$

$$\emptyset \text{ tul. Angkat} \geq 10,99 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan angkat diameter 12 mm

Penentuan kedalaman angkur berdasarkan analisa kekuatan pecah beton dari angkur terhadap gaya tarik

$$h_{ef} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \cdot \sqrt{f_c}}\right)^2} \quad \text{umur beton} = 7 \text{ hari} \text{----} f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$$

$$= \sqrt[3]{\left(\frac{25300 \text{ N}}{10 \cdot \sqrt{19,8 \text{ Mpa}}}\right)^2}$$

$$= 65,5 \text{ mm} \sim 70 \text{ mm}$$

4.5.3.4.3 Kontrol Pemasangan

Kontrol pemasangan (erection) adalah saat dimana balok setelah diangkat kemudian dipasang pada konsol. Pada kondisi ini, balok harus mampu memikul berat sendirinya sebelum dicor secara monolit dengan pelat dan kolom. Berikut ini adalah perhitungan tulangan saat pemasangan. Pemasangan dilakukan saat umur beton 7 hari $f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$

d. Data Perencanaan

$$b = 400 \text{ mm} \qquad d_{\text{pra}} = h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk}$$

$$h_{\text{tot}} = 600 \text{ mm} \qquad = 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pra}} = 480 \text{ mm}$$

$$t_{\text{pelat}} = 120 \text{ mm}$$

$$t_{\text{sel}} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 7350 \text{ mm}$$

e. Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri Precast } q &= b \cdot h \cdot BJ \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 460,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= q \cdot 1,2 \\ &= 553 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban Pekerja } P = 100 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok anak precast } P &= b.h. B.J. L_{ba} \\ &= 0,4\text{m} \cdot 0,48\text{m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1846,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= P_{tot} \cdot 1,6 \\ &= (100 \text{ kg} + 1846,8 \text{ kg}) \cdot 1,6 \\ &= 3114,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 1/8 \cdot Q_u \cdot L^2 + 1/4 \cdot P_u \cdot L \\ &= 1/8 \cdot 460,8 \text{ kg/m} \cdot (7,35 \text{ m})^2 + 1/4 \cdot 3114,88 \text{ kg} \cdot 7,35 \text{ m} \\ &= 11496,11 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$M_u = 14186,44 \text{ kgm}$$

f. Perhitungan penulangan

$$M_n = M_u / \phi$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{14186,44 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 15763,7 \text{ kgm} \\
 &= 157627120 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b.d^2} = \frac{157627120 \text{ Nmm}}{400 . 425^2} = 2,181$$

$$m = \frac{fy}{0,85 fc} = 20,685$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m.Rn}{Fy}} \right] \\
 &= \frac{1}{20,685} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2.20,685 \cdot 2,181}{400}} \right] \\
 &= 0,00581
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As &= \rho . b . d \\
 &= 0,00581 . 400 \text{ mm} . 425 \text{ mm} \\
 &= 986,415 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{As}{\frac{1}{4} . \pi . d^2}$$

$$= \frac{986,415}{\frac{1}{4} \pi \cdot 19^2}$$

$$= 3,5 \sim 4 \text{ tulangan}$$

$$\text{As pasang} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= 1134,11 \text{ mm}^2$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 4 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pemasangan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.5.3.4.4 Kontrol Pengecoran

Kontrol pengecoran adalah saat dimana balok pracetak yang telah terpasang dicor bersamaan dengan half slab dan sisa balok yang belu dicor . Pada kondisi ini, balok harus mampu memikul berat sendiri, berat beton basah, dan berat pekerja. Berikut ini adalah perhitungan tulangan saat pemasangan. Pemasangan dilakukan saat umur beton 7 hari $f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$

d. Data Perencanaan

$$b = 400 \text{ mm} \qquad d_{\text{pra}} = h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk}$$

$$h_{\text{tot}} = 600 \text{ mm} \qquad = 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pra}} = 480 \text{ m}$$

$$t_{\text{pelat}} = 120 \text{ mm}$$

$$t_{\text{sel}} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 7350 \text{ mm}$$

e. Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri Precast } q &= b.h. \text{ BJ} \\ &= 0,4\text{m}.0,48\text{m}. 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 460,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= q \cdot 1, 2 \\ &= 553 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban Pekerja } P = 100 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok anak precast } P &= b.h. \text{ BJ. } L_{ba} \\ &= 0,4\text{m}.0,48\text{m}. 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1846, 8 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= P_{tot.} 1,6 \\ &= (100 \text{ kg} + 1846, 8 \text{ kg}). 1,6 \\ &= 3114,88 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= 1/8. Q_u. L^2 + 1/4. P_u. L \\ &= 1/8. 460,8 \text{ kg/m}. (7,35 \text{ m})^2 + 1/4. 3114,88 \text{ kg}. 7,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 11496,11 \text{ kgm}$$

$$\text{Faktor kejut} = 1,5$$

$$\text{Mu} = 14186,44 \text{ kgm}$$

f. Perhitungan penulangan

$$\text{Mn} = \text{Mu} / \phi$$

$$= \frac{14186,44 \text{ kgm}}{0,9}$$

$$= 15763,7 \text{ kgm}$$

$$= 157627120 \text{ Nmm}$$

$$\text{Rn} = \frac{\text{Mn}}{b \cdot d^2} = \frac{157627120 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,181$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 20,685$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot \text{Rn}}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{20,685} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 20,685 \cdot 2,181}{400}} \right]$$

$$= 0,00581$$

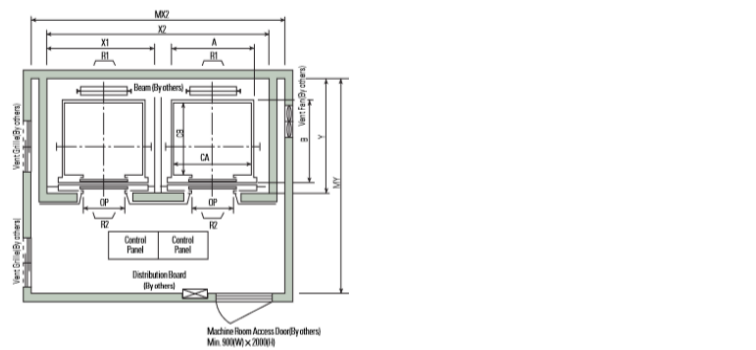
$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00581 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\
 &= 986,415 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \\
 &= \frac{986,415}{\frac{1}{4} \pi \cdot 19^2} \\
 &= 3,5 \sim 4 \text{ tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \\
 &= 1134,11 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 4 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pemasangan tulangan terpasang telah mencukupi..



Speed (m/sec)	Capacity		Clear Opening	Car		Hoistway				M/C Room				M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)		
	Persons	kg		OP	CA X CB	External A X B	1Car X1	2Cars X2	3Cars X3	Depth Y	1Car MX1	2Cars MX2	3Cars MX3	Depth MY	R1	R2	R3	R4
1	6	450	800	1400 × 850	1440 × 1005	1800	3700	5600	1430	2000	4000	6000	3200	3600	2000	5400	4500	
	8	550	800	1400 × 1030	1440 × 1185	1800	3700	5600	1610	2000	4000	6000	3400	4050	2250	6000	4900	
	9	600	800	1400 × 1130	1440 × 1285	1800	3700	5600	1710	2000	4000	6000	3500	4100	2450	6300	5100	
	10	700	800	1400 × 1250	1440 × 1405	1800	3700	5600	1830	2000	4000	6000	3600	4200	2700	6800	5400	
	11	750	800	1400 × 1350	1440 × 1505	1800	3700	5600	1930	2000	4000	6000	3700	4550	2800	7100	5600	
	13	900	900	1600 × 1350	1640 × 1505	2050	4200	6350	1980	2300	4400	6800	3750	5100	3750	8100	6300	
1.75	15	1000	900	1600 × 1500	1640 × 1655	2050	4200	6350	2130	2300	4400	6800	3850	5450	4300	8600	6600	
			1000	1800 × 1500	1900 × 1670	2350	4800	7250	2180	2600	4900	7500	3900	6600	5100	11000	8700	
2 (nom.)	17	1150	1100	2000 × 1350	2100 × 1520	2550	5200	7850	2030	2800	5250	8300	3800					
			1000	1800 × 1700	1900 × 1870	2350	4800	7250	2380	2600	4900	7500	4200					
2.5 (nom.)	20	1350	1100	2000 × 1500	2100 × 1670	2550	5200	7850	2180	2800	5250	8300	4000	7800	6000	12200	9500	
				2000 × 1750	2100 × 1920	2550	5200	7850	2430	2900	5400	8300	4300					
	24	1600	1100	2150 × 1600	2250 × 1770	2700	5500	8300	2280	3000	5650	8700	4200	8500	6800	13600	10400	

Preliminary desain lift

L

=

290

cm

h_{min}

=

$\frac{1}{16}$

x

290

cm

=

18.1

cm

digunakan, h

=

50

cm

b

=

$\frac{2}{3}$

x

18.1

cm

=

12.1

cm

digunakan, b

=

30

cm

Maka dimensi lift,

300

x

500

- **Pembebanan**

Beban Mati

$$\text{Berat Balok Sendiri} = 0.3 \times 0.5 \times 24 = 3.6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Plat 12 cm} = 0.12 \times 24 = 2.9 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total (qd + 10\%)} = 7.1 \text{ kN/m}$$

Beban Hidup

$$\text{Kantor} = 2.4 \times 2.9 = 6.96 \text{ kN/m}$$

Beban Hidup terpusat (brosur)

$$R1 = 54.5 \text{ Kn (B.Mesin + Perl + Elv)}$$

$$R2 = 43 \text{ Kn (B.Msn + Perl + C.Wgh)}$$

$$q_u = 1.2 \times DL + 1.6 \times LL$$

$$= 1.2 \times 7.1 + 1.6 \times 6.96$$

$$= 19.7 \text{ kN/m}$$

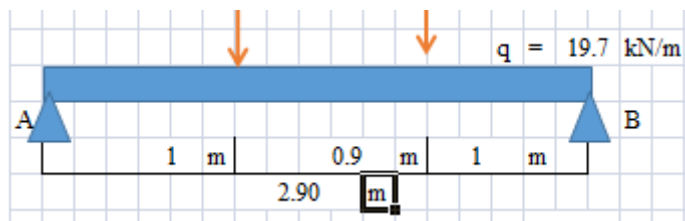
- **Analisa Gaya Dalam**

beban terpusat (brosur) pada perhitungan gaya dalam balok lift dibagi menjadi dua, dengan pembagian sebagai berikut :

$$P1 = 48.75$$

$$P2 = 48.75$$

$$q = 19.7 \text{ kN/m}$$



$$\Sigma MB = 0$$

$$V_A \times 2.9 - 48.75 \times 1.9 - 48.75 \times 1 - 82.79 = 0$$

$$2.9 \quad V_A \quad -82.875 \quad -48.75 \quad -82.79 = 0$$

$$V_A = 73.93 \text{ Kn(+)}$$

Distribusi beban terpusat P pada setiap perletakan

$$V_{Ap1} = 48.8 \times \frac{1.9}{2.9} = 31.9 \text{ Kn}$$

$$V_{Bp1} = 48.8 - 31.9 = 16.8 \text{ Kn}$$

$$V_{Ap2} = 48.8 \times \frac{1}{2.9} = 16.8 \text{ Kn}$$

$$V_{Bp2} = 48.8 - 16.8 = 31.9 \text{ Kn}$$

$$D_{AB} = 77.3 - 19.7 \times L_1 - 31.9 - 16.8 = 0$$

$$L_1 = 1.45 \text{ m} \quad \text{Dari titik A}$$

$$\begin{aligned} Mu &= qL^2/8 + V_{Ap1} \cdot L + V_{Ap2} \cdot L \\ &= 20.70 + 46.313 + 24.375 \\ &= 91.39 \text{ Knm} \\ &= 91386192 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vu &= 0.5 \times q_u \times L + V_{Ap1} + V_{Ap2} \\ &= 0.5 \times 19.7 \times 2.9 + 16.8 + 31.9 \\ &= 77.3 \text{ Kn} \\ &= 77299.92 \text{ N} \end{aligned}$$

4.5.2 Penulangan balok lift

Data Perencanaan

Mutu Beton	=	35	Mpa
Mutu Baja	=	400	Mpa
Berat Jenis Beton	=	2400	kg/m ³
Tulangan Lentur	=	16	mm
Tulangan geser	=	10	mm
Tebal Selimut Beton	=	40	mm

Menurut SNI 2847:2013 nilai β_1 ditentukan sebesar :

f'_c (Mpa)	β_1
28	0.85
35	0.8
42	0.75

memakai Interpolasi

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0.8 + \frac{30 - 28}{35 - 28} \cdot 0.05 \\ &= 0.81 > 0.65 \quad \text{ok}\end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2013 lampiran B (Ps. B.8.4.2 dan Ps. 10.3) mencari rasio tulangan maksimum terhadap penampang beton sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ \rho_b &= \frac{0.85 \times 0.81 \times 30}{420} \times \frac{600}{600 + 420} = 0.029 \\ \rho_{\max} &= 0.75 \times \rho_b = 0.75 \times 0.029 = 0.022\end{aligned}$$

Sedangkan menurut SNI 2847:2013 Ps. 21.5.2 untuk rasio tulangan minimum (ρ_{\min}) mencari nilai yang terbesar dari

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{0.25 f_c}{f_y} = \frac{0.25 \times 30}{420} = 0.0033 \\ \rho_{\min} &= \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{420} = 0.0033\end{aligned}$$

maka dipakai ρ_{\min} yaitu 0.0033

● **Tulangan lentur balok lift**

$$M_u = 9138.6 \text{ Kgm}$$

$$M_n = \frac{9138.62}{0.8} = 11423 \text{ kgm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{11423274.00}{300 \times 204304} = 1.86 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16.5} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16.5 \times 1.86}{400}} \right) = 0.0049 \end{aligned}$$

$$\text{sehingga } \rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0.0033 < 0.0049 < 0.022$$

$$\rho_{\text{pakai}} = 0.0049$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\ &= 0.0049 \times 300 \times 452 = 658.12 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{s_{D16}}} = \frac{658.1}{200.96} = 3.27$$

maka dipasang **4** tulangan

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= n \times A_{s_{D16}} = 4 \times 201 \text{ mm}^2 \\ &= 803.84 \text{ mm}^2 > 658.12 \text{ mm}^2 \quad \text{ok} \end{aligned}$$

$$s = \frac{300 - 80 - 64}{3} = 52.00 \text{ mm}$$

$$25 \text{ mm} < 52.00 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$$

maka dipakai **4D16**

Kontrol kekuatan

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d} = \frac{803.84}{300 \times 452} = 0.0059 > \rho_{\text{perlu}}$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times b \times f_c'} = \frac{803.84 \times 420}{0.85 \times 300 \times 30} = 44.1 \text{ mm}$$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times d - \frac{a}{2}$$

$$= 0.8 \times 803.8 \times 420 \times 452 - \frac{44.1}{2}$$

$$= 11612.09 \text{ kgm} > M_{ulap}$$

Tulangan geser balok liftTulangan tumpuan

$$V_u = 7730.0 \text{ Kg}$$

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.2 untuk menentukan kapasitas gaya geser yang disediakan oleh beton

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times f_c' \times b_w \times d \\ &= 0.17 \times 35 \times 300 \times 452 \\ &= 136377.5 \text{ N} = 13638 \text{ kg} \\ \phi V_c &= 0.75 \times 13638 = 10228 \text{ kg} \\ 0.5 \phi V_c &= 5114.2 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka,

$$V_u > \phi V_c$$

sehingga dibutuhkan tulangan geser, menurut SNI 2847:2013

Ps.11.4.5 Spasi tulangan geser tidak melebihi $d/2$

$$s = \frac{d}{2} = \frac{452}{2} = 226 \text{ mm, maka diambil : } 200 \text{ mm}$$

Dengan luas tulangan geser minimum

$$\begin{aligned} A_{vmin} &= 0.062 \times f_c' \times \frac{b_w \times s}{f_{yt}} \\ A_{vmin} &= 0.062 \times 35 \times \frac{300 \times 226}{400} \end{aligned}$$

$$A_{vmin} = 62.2 \text{ mm}^2$$

$$A_{VD\ 12} = 144 \text{ mm}^2 > 62.2 \text{ mm}^2$$

Menurut SNI 2847:2013 Ps. 11.4.7 untuk mencari kapasitas geser yang disediakan oleh tulangan.

$$V_{smin} = V_u - V_c$$

$$V_{smin} = 7730.0 - 10228 = -2498.3 \text{ Kg}$$

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$= \frac{144 \times 400 \times 452}{200}$$

$$= 130176 \text{ N} = 13018 \text{ Kg} > V_{smin}$$

maka dipakai tulangan geser, D12-200

4.4.3 Perhitungan Penulangan Tangga

Pada perhitungan penulangan tangga akan diambil contoh dari tangga yang digunakan adalah tangga penghubung lantai 1 dan lantai 2 .Adapun data-data tipe pelat tangga dan perhitungan penulangan pelat tangga sebagai berikut :

a. Data Perencanaan

Mutu Beton (f_c')	= 35 Mpa
BJ tul.lentur (f_y)	= 400 Mpa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 150 mm
Tebal Selimut beton	= 20 mm
Diameter Tulangan Lentur arah Y	= 13 mm
Diameter Tulangan Lentur arah X	= 10 mm

Tebal Manfaat Pelat

$$\begin{aligned} d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\phi - \phi \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 13 \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= h - t.\text{selimut} - 0,5\phi \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 29,5}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0315 = 0,024$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f'_c} = \frac{400}{0.85 \times 29,05} = 16.20$$

b. Tulangan Arah Y (arah memanjang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil program analisis struktur

$$M_{19} = 20081800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{20081800 \text{ Nmm}}{0,9} = 19313111,11 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{22313111,11}{1000 \times 123,5^2} = 2,44$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 2,44}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{Perlu} = 0,0038$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0038 < 0,024 \quad (\text{memenuhi})$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0038 \times 1000 \text{ mm} \times 123,5 \text{ mm}$$

$$= 465,92 \text{ mm}^2$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 13 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{465,82}$$

$$S = 230,5 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø13-150

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 884,43 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 884,43 \text{ mm}^2 > 465,92 \text{ mm}^2$$

c. Tulangan Arah X (arah melintang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil program analisis struktur

$$M_{11} = 10608300 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{10608300 \text{ Nmm}}{0,9} = 11787000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = \frac{12601000}{1000 \times 112^2} = 1,00 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 1,00}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0024$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0024 < 0,024 \quad (\text{tidak memenuhi})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0024 = 0,0031$$

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= 0,0031 \times 1000\text{m} \times 112\text{m} \\ &= 348,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 112}{400}$$

$$A_{s_{min}} = 392 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{min}}$

maka $A_{s_{perlu}} = A_{s_{min}}$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 150\text{mm} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{392}$$

$$S = 200,26 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-150

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 523,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 523,33 \text{ mm}^2 > 392 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

4.4.4 Perhitungan penulangan Pelat Bordes

Pada perhitungan penulangan bordes akan diambil contoh dari bordes yang menghubungkan tangga lantai 1. Adapun data-data tipe pelat bordes dan perhitungan penulangan pelat bordes sebagai berikut :

a. Data Perencanaan

Mutu Beton (f_c')	= 35 Mpa
BJ tul.lentur (f_y)	= 400 Mpa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 150 mm
Tebal Selimut beton	= 20 mm
Diameter Tulangan Lentur Arah Y	= 13 mm
Diameter Tulangan Lentur Arah X	= 10 mm

Tebal Manfaat Pelat

$$\begin{aligned} d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\varnothing - \varnothing \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 13 \\ &= 112 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_y &= h - t.\text{selimut} - 0,5\varnothing \\ &= 150 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 13\right) \\ &= 123,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 29,5}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)} \\ &= 0,0315 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0315 = 0,024$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 29,05} = 16,20$$

b. Tulangan Arah X (arah memanjang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil program analisis struktur

$$M_{11} = 17215900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{17215900 \text{ Nmm}}{0,9} = 19128777,8 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d x^2} = \frac{19128777,8}{1000 \times 112^2} = 1,52$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,20} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.16,20.1,52}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,0039$$

ρ_{\min} , ρ_{perlu} dan ρ_{\max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0039 < 0,024 \quad (\text{memenuhi})$$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,0039 \times 1000 \text{ mm} \times 112 \text{ mm}$$

$$= 441,05 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 112}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 392 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{\min}}$

maka $A_{s_{\text{perlu}}} > A_{s_{\min}}$ (memenuhi)

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{441,05}$$

$$S = 177,98 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-150

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{150}$$

$$As_{pasang} = 523,33 \text{ mm}^2$$

$$As_{pasang} > As_{perlu} = 523,33 \text{ mm}^2 > 441,05 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

c. Tulangan Arah Y (arah melintang)

Diambil momen akibat dari kombinasi 1,2D + 1,6L dari hasil program analisis struktur

$$M_{11} = 34336800 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{34336800 \text{ Nmm}}{0,9} = 38152000 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d \cdot y^2} = \frac{38152000 \text{ Nmm}}{1000 \cdot (123,5)^2} = 2,48$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,20 \cdot 2,48}{400 \text{ Mpa}}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0066$$

ρ_{\min} , ρ_{perlu} dan ρ_{\max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{perlu} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0066 < 0,024 \quad (\text{oke})$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0065 \times 1000\text{m} \times 123,5 \text{ m}$$

$$= 812,29 \text{ mm}^2$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 150\text{mm} = 300 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 13 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{812,29}$$

$$S = 163,32 \text{ mm} \quad S_{pakai} = 150\text{mm}$$

Tulangan Pakai Ø13-150

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 13^2 \times 1000}{150}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 884,43 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 884,43 \text{ mm}^2 > 812,29 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

4.5 Perhitungan Struktur Utama

4.5.1 Perhitungan Balok Induk

Perencanaan balok induk didesain dengan menggunakan tulangan rangkap dimana untuk merencanakan tulangan lentur diperhitungkan gaya gempa arah bolak balik (kiri dan kanan) yang akan menghasilkan momen positif dan negatif pada

tumpuan. Hasil perencanaan tulangan yang nantinya akan digunakan merupakan kombinasi dari perencanaan bertahap tersebut dengan mengambil jumlah tulangan yang terbesar. Pada perencanaan ini akan diambil balok B1 pada lantai 3 yang merupakan balok b1 dengan momen terbesar.

Data - data yang akan digunakan dalam merencanakan balok induk pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Data-data perencanaan tulangan balok :
 - Tipe balok : B1 (40/60)
 - As balok : As 2 (E-F)
 - Bentang balok (L balok) : 8100 mm
 - Dimensi balok (b balok) : 400 mm
 - Dimensi balok (h balok) : 600 mm
 - Bentang kolom (L kolom) : 5000 mm
 - Dimensi kolom (b kolom) : 500 mm
 - Dimensi kolom (h kolom) : 500 mm
 - Kuat tekan beton (f_c') : 35 MPa
 - Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 400 MPa
 - Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) : 400 MPa
 - Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt}) : 400 MPa
 - Diameter tulangan lentur (D lentur) : 19 mm
 - Diameter tulangan geser (\emptyset geser) : 12 mm
 - Diameter tulangan puntir (\emptyset puntir) : 13 mm
 - Jarak spasi tulangan sejajar (S sejajar) : 25mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)
 - Jarak spasi tulangan antar lapis : 25mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)
 - Tebal selimut beton (t decking) : 50 mm (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.(c))
 - Faktor β_1 : 0,85
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(3))
 - Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))
 - Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

- Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) : 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka tinggi efektif balok :

- Untuk tulangan 1 lapis :

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - 1/2 \phi \text{ tul lentur} \\ &= 600 - 50 - 12 - (1/2 \cdot 19) \\ &= 528,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + 1/2 \phi \text{ tul lentur} \\ &= 50 + 12 + (1/2 \cdot 19) \\ &= 71,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Untuk tulangan 2 lapis

$$\begin{aligned} d &= h - \text{decking} - \phi_{\text{sengkang}} - \phi \text{ tul lentur} - (1/2 S) \\ &= 600 - 50 - 12 - 19 - (1/2 \cdot 25) \\ &= 506,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \phi_{\text{sengkang}} + \phi \text{ tul lentur} + (1/2 S) \\ &= 50 + 12 + 19 + (1/2 \cdot 25) \\ &= 91,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

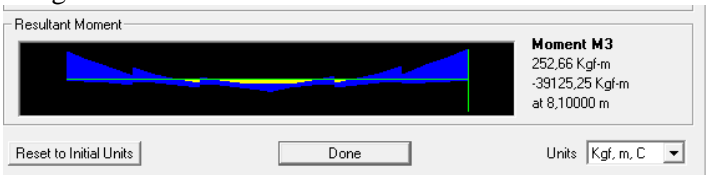
$$\rho_{min} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{f_c}}{F_y} = \frac{0,25 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}}{400 \text{ Mpa}} = 0,0037$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 f_c' \beta}{F_y} + \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 35 \times 0,85}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,0379 \end{aligned}$$

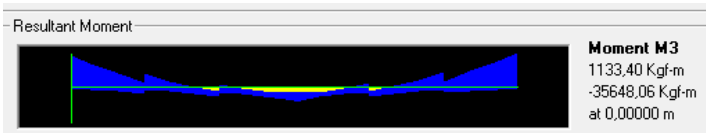
$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0379 = 0,0284$$

ρ min dipilih yang paling besar yaitu 0,0037

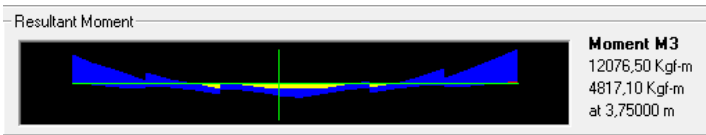
Dari analisa SAP2000 didapat nilai gaya dalam maksimum sebagai berikut:



Gambar 4. 24 Momen tumpuan kanan akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)



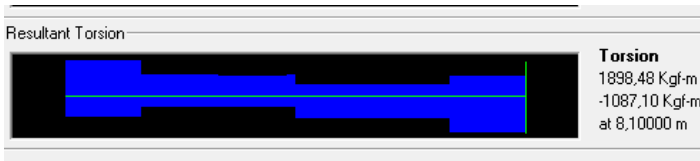
Gambar 4. 25 Momen tumpuan kiri akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)



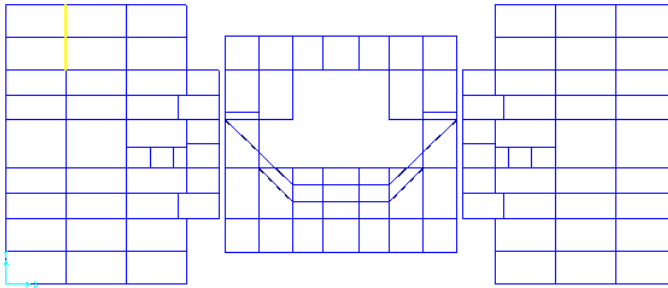
Gambar 4. 26 Momen lapangan akibat kombinasi (1,2 D+1,6 L)



Gambar 4. 27 Geser maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)



Gambar 4. 28 Torsi maksimum akibat kombinasi (1,2 D+1L+1EX)

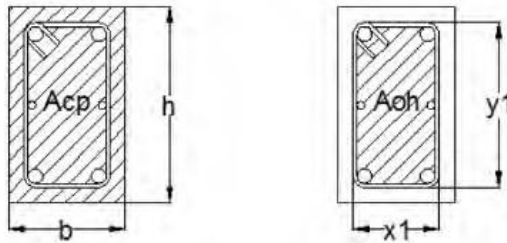


Gambar 4. 29 Denah Pembalokan

1	Momen Torsi	:	18984800	Nmm
2	Momen Tumpuan Kanan	:	391252500	Nmm
3	Momen Tumpuan Kiri	:	356840600	Nmm
4	Momen Lapangan	:	153414600	Nmm
5	Gaya Geser	:	241679	N

4.5.1.1 Perhitungan Tulangan Torsi

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir.



Gambar 4. 30 Luasan Acp dan Aoh

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parameter luas irisan penampang beton Acp

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2t_{deck} - 2\phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2t_{deck} - 2\phi_{geser}) \\ &= (400 - 2.50) - 2.12 \times (600 - (2.50) - 2.12) \\ &= 131376 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times ((b_{balok} - 2t_{deck} - 2\phi_{geser}) + (h_{balok} - 2t_{deck} - 2\phi_{geser})) \\ &= 2 \times ((400 - 2.50) - 2.12) + (600 - (2.50) - 2.12)) \\ &= 1504 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil output diagram torsi pada program analisis struktur diperoleh momen puntir terbesar :

Momen Puntir Ultimate kibat Kombinasi 1,2D+1L+1 EX

$$T_u = 18984800 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\
 &= \frac{18984800}{0,75} \\
 &= 25313066,67 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang daripada :

$$\begin{aligned}
 T_{u \min} &= \phi 0,083 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{35} \times \frac{240000^2}{2000} \\
 &= 10606347,84 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar :

$$\begin{aligned}
 T_{u \max} &= \phi 0,33 \lambda \sqrt{f_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{35} \times \frac{240000^2}{2000} \\
 &= 42169816,69 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

Syarat :

$T_{u \min} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$

$10606347,84 \text{ Nmm} < 18984800 \text{ Nmm}$ (memerlukan tulangan puntir)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang.

Cek Kecukupan Penampang Menahan Momen Puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut :

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{Bw.d}\right)^2 + \left(\frac{Tu.Ph}{1,7 Aoh}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{Vu}{Bw.d} + 0,66\sqrt{fc}\right)$$

$$1,286 \leq 3,368 \text{ (memenuhi)}$$

Maka, penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan Puntir Untuk Lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7 direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$AL = \frac{At}{s} Ph \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \cot^2 \phi$$

Dengan $\frac{At}{s}$ dihitung sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6 berasal dari persamaan di bawah

$$T_n = \frac{2 x A_o x At x F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang $\phi = 45^\circ$

$$\begin{aligned} \text{Dimana, } A_o &= 0,85 x A_{oh} \\ &= 0,85 x 131376 \\ &= 111669 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{At}{s} &= \frac{T_n}{2 x A_o x F_{yt} x \cot \phi} \\ &= \frac{25313066,7}{2 x 111669 x 400 x \cot 45} \\ &= 0,46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$AL = \frac{At}{s} Ph \left(\frac{F_{yt}}{F_y}\right) \cot^2 \phi$$

$$Al = 0,46 \times 1504 \times \left(\frac{400}{400}\right) \cot^2 45$$

$$= 264,19 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3 tulangan torsi longitudinal minimum harus dihitung dengan ketentuan :

$$Al \text{ min} = \frac{0,42\sqrt{f'c} \times Acp}{F_y} - \left(\frac{At}{s}\right) Ph \frac{F_{yt}}{F_y}$$

Dengan $\frac{At}{s}$ tidak boleh kurang dari : $0,175 \frac{bw}{f_{yt}}$

$$0,175 \frac{240}{400} = 0,175$$

$$Al \text{ min} = \frac{0,42\sqrt{35} \times 240000}{400} - (0,175) 1504 \frac{240}{400}$$

$$Al \text{ min} = 1197,65 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$ maka gunakan $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$ maka gunakan $Al \text{ perlu}$

$264,19 \text{ mm}^2 \leq 1197,65 \text{ mm}^2$ (maka gunakan $Al \text{ min}$)

Maka dipakai tulangan puntir perlu sebesar $1197,65 \text{ mm}^2$

Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata ke empat sisi pada penampang balok

$$\frac{Al}{4} = \frac{1197,65}{4} = 306.91 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing sisi samping (kanan dan kiri) balok mendapat tambahan luasan tulangan puntir sebesar 306.91 mm^2

Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi samping)

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{306.21 \text{ mm}^2}{132,79 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,31 \approx 4$$

Dipasang tulangan puntir 4 D13

Kontrol luasan tulangan pasang puntir

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \times \text{Luasan } D \text{ puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \pi 13^2 \\ &= 531,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang \geq As perlu

$$531,14 \text{ mm}^2 \geq 306.21 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir sisi samping (kanan dan kiri) di tumpuan dan lapangan sebesar 4D13.

4.5.2.2 Perhitungan Penulangan Lentur

DAERAH TUMPUAN KIRI

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) x d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) x 506,5 \\ &= 303,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X$$

$$= 0,75 \times 303,3$$

$$= 197,475 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$X_{min} = h - d$$

$$= 600 - 506,5$$

$$= 93,5 \text{ mm}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 94 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$Cc' = 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana}$$

$$= 0,85 \times 35 \times 400 \times 0,85 \times 94$$

$$= 950810 \text{ N}$$

Luas tulangan Tarik

$$Asc = \frac{Cc'}{F_y}$$

$$= \frac{950810}{400}$$

$$= 2377,03 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$= 2377,03 \times 400 \times \left(506,5 - \frac{0,85 \times 94}{2} \right)$$

$$= 443600405,5 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\mu_{tumpuan} = 356840400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{\mu_u}{\phi}$$

$$= \frac{356840400}{0,9}$$

$$M_n = 396489555,6 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 396489555,6 - 443600405,5 \\ &= -120465736,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -120465736,96 \text{ Nmm} \leq 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{356840400}{0,9} = 396489555,6 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{396489555,6}{400 \times 506,5^2} = 3,864$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13,45} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 3,864}{400}} \right] \\ &= 0,01038 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0035 < 0,01038 < 0,0284$ (Memenuhi)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,01038 \times 400 \times 506,5 \\ &= 2103,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{sperlu} = A_s + \frac{A_l}{4}$$

$$A_{sperlu} = 2103,88 + 306,91$$

$$A_{sperlu} = 2410,79 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan } D_{\text{lentur}}}$$

$$n = \frac{2410,79 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 8,499 \approx 9 \text{ Dipasang tulangan lentur 9 D19}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 2 lapis :

Untuk serat terluar direncanakan = 6 buah

Untuk serat dalam direncanakan = 3 buah

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 9 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 2552,79 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$2552,79 \text{ mm}^2 > 2410,79 \text{ mm}^2 (\text{memenuhi})$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 A_s \\
 &= 0,3 \times 2552,79 \text{ mm}^2 \\
 &= 765,84 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{Luasan D \text{ lentur}} \\
 n &= \frac{765,84 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2} \\
 n &= 2,4 \approx 5 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 5 D19}
 \end{aligned}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1418,21 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} > A_s \text{ perlu}$$

$$1418,21 \text{ mm}^2 > 765,84 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 9 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 4D19

- Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\
 S_{max} &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{6 - 1} \\
 &= 33,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

33,2 mm \geq 25 mm (memenuhi)

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{ma} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 68 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

68 mm \geq 25 mm (memenuhi)

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ($S_{max} \leq 25 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut. $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/2 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$A_s \text{ pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$

$$= 9 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 2552,79 \text{ mm}^2$$

$$\text{As' pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1418,21 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/2 M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1418,21 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 2552,79 \text{ mm}^2$$

$$1418,21 \text{ mm}^2 \geq 1276,39 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left(\frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{2552,79 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} \right)$$

$$= 93,34 \text{ mm}$$

$$Mn \text{ pasang} = As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2552,79 \times 400 \times \left(509 - \frac{93,34}{2} \right)$$

$$= 520574196,36 \text{ Nmm}$$

Cek : $\theta Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$

$$520574196,36 \text{ Nmm} > 396489555,56 \text{ Nmm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (40/60) As 2 (A-B) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 9 D19 dan tulangan tekan 5 D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 2 lapis

Lapis 1 (Serat Luar) : 6D19

Lapis 2 (Serat Dalam) : 3D19

- Tulangan Tekan 1 Lapis

Lapis 1 : 5D19

DAREAH TUMPUAN KANAN

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 506,5 \\ &= 303,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times X \\ &= 0,75 \times 303,9 \\ &= 197,475 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 600 - 506,5 \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 94 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 35 \times 400 \times 0,85 \times 94 \\ &= 950810 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{847940,45}{400} \\ &= 2377,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 2377,03 \times 400 \times \left(506,5 - \frac{0,85 \times 94}{2} \right) \\ &= 443600405,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu \text{ tumpuan} = 391252500 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{391252500}{0,9}$$

$$Mn = 434725000 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 434725000 - 434725000 \\
 &= -8875405 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \geq 0$

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= -8875405 \text{ Nmm} \geq 0 \\
 &(\text{tidak perlu tulangan lentur tekan})
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

✓ Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45 \\
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{391252500}{0,9} = 434725000 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{434725000}{400 \times 506,5^2} = 4,23
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{13,45} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 4,23}{400}} \right] \\
 &= 0,0115
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } \quad \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,115 < 0,0284 \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0115 \times 400 \times 506,5 \\
 &= 2325,12 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{\text{perlu}} = A_s + \frac{A_t}{4}$$

$$As_{perlu} = 2325,12 + 306,91$$

$$As_{perlu} = 2632,03 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan \ D_{lentur}}$$

$$n = \frac{2410,79 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 9,279 \approx 10 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 10 D19}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 2 lapis :

Untuk serat terluar direncanakan = 6 buah

Untuk serat dalam direncanakan = 4 buah

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 10 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 2836,43 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$2836,43 \text{ mm}^2 > 2632,03 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,3 As$$

$$= 0,3 \times 2836,43 \text{ mm}^2$$

$$= 789,61 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tekan Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan \ D_{lentur}}$$

$$n = \frac{789,61 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 2,78 \approx 5 \text{ Dipasang tulangan lentur 5 D19}$$

Luasan Tulangan Lentur Tekan Pasang (Sisi Bawah)

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 1418,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$1418,21 \text{ mm}^2 > 765,84 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 7 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 3D19

- Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ S_{max} &= \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5 - 1} \\ &= 42,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$$42,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned} S_{max} &= \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1} \\ S_{max} &= \frac{b - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\ &= 107 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

107 mm \geq 25 mm (memenuhi)

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ($S_{max} \leq 25\text{mm}$) , maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari 1/2 kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari 1/4 kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung kompone tersebut. M lentur tumpuan (+) \geq 1/2 x M lentur tumpuan (-)

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} \text{As pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 10 \times 0,25 \times \pi \times 19 \\ &= 2836,43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As' pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19 \\ &= 1418,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+) \geq 1/2 M lentur tumpuan (-)

$$1418,21 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 2836,43 \text{ mm}^2$$

$$1418,21 \text{ mm}^2 \geq 1418,21 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \frac{(As \cdot fy) - (As' \cdot fs')}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$a = \frac{(2836,43 \times 400) - (1418,21 \times 38,6)}{0,85 \times 35 \times 400}$$

$$a = 95,34 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 2836,43 \times 400 \times \left(506,5 - \frac{93,34}{2} \right) \\ &= 520574196,36 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek : $\theta Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$
 $520574196,36 \text{ Nmm} > 434725000 \text{ Nmm}$ (Memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (40/60) As 2 (E-F) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 10 D19 dan tulangan tekan 5D19 dengan susunan sebagai berikut:

- Tulangan tarik 2 lapis
 Lapis 1 (Serat Luar) : 6D19
 Lapis 2 (Serat Dalam) : 4D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
 Lapis 1 : 5D19

DAERAH LAPANGAN

Garis netral dalam kondisi balance

$$\begin{aligned} Xb &= \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d \\ &= \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 506,5 \\ &= 303,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} Xmax &= 0,75 \times Xb \\ &= 0,75 \times 303,9 \end{aligned}$$

$$= 198,83 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= h - d \\ &= 600 - 506,5 \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 94 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 f_c' b \beta_1 X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 35 \times 400 \times 0,85 \times 94 \\ &= 950810 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{950810 \text{ N}}{400} \\ &= 2377,03 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times F_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ &= 2377,03 \times 400 \times \left(506,5 - \frac{0,85 \times 94}{2} \right) \\ &= 443600405 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\text{Mu lapangan} = 153414600 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{153414600}{0,9} \end{aligned}$$

$$M_n = 170460666,67 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 170460666,67 - 443600405 \\ &= -273139738 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka, $M_{ns} \leq 0$

$M_{ns} = -273139738 \text{ Nmm} \leq 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,45$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{153414600}{0,9} = 170460666,67 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{170460666,67}{400 \times 506,5^2} = 1,66$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\ &= \frac{1}{13,45} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 1,66}{400}} \right] \\ &= 0,0043 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$
 $0,0036 < 0,0043 < 0,0284$ (Memenuhi)

Luasan Perlu (As perlu) Tulangan Lentur Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0043 \times 400 \times 506,5 \\ &= 903,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$As_{perlu} = As + \frac{Al}{4}$$

$$As_{perlu} = 903,89 + 306,91$$

$$As_{perlu} = 1210,81 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Atas)

$$n = \frac{As_{perlu}}{Luasan \ D_{lentur}}$$

$$n = \frac{1210,81 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 4,269 \approx 5 \text{ Dipasang tulangan lentur 5 D19}$$

Direncanakan Tulangan dipasang 1 lapis :

Kontrol luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Atas)

$$As_{pasang} = n_{pasang} \times luasan \ D_{lentur}$$

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1418,21 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$As_{pasang} > As_{perlu}$$

$$1418,21 \text{ mm}^2 > 1210,81 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan pasang (As') Tulangan Lentur Tekan

Menurut SNI 03 2847 2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan tarik

$$As' = 0,3 As$$

$$= 0,3 \times 1418,21 \text{ mm}^2$$

$$= 425,46 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Lentur Tarik Pakai (Sisi Bawah)

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{Luasan \text{ Dlentur}}$$

$$n = \frac{425,46 \text{ mm}^2}{283,643 \text{ mm}^2}$$

$$n = 1,5 \approx 3 \quad \text{Dipasang tulangan lentur 3D19}$$

Luasan Tulangan Lentur Tarik Pasang (Sisi Bawah)

As pasang = n pasang x luasan D lentur

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 850,93 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

As pasang > As perlu

$$850,93 \text{ mm}^2 > 425,46 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$Smaks \geq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$Smaks \leq Ssejajar = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan di pakai tulangan tarik 1 lapis 5 D19 dan tulangan tekan 1 lapis 3 D19

- Kontrol tulangan tarik

$$Smax = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$Smax = \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$= 45,35 \text{ mm}$$

$Smaks \geq Ssyarat \text{ agregat}$

$$33,2 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

- Kontrol tulangan tekan

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times 50) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 111,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$111,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik telah terpenuhi ($S_{maks} \leq 25 \text{ mm}$), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis

Cek syarat SRPMK untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari setengah kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negative maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperempat kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. $M \text{ lentur lapangan (+)} \geq 1/2 \times M \text{ lentur lapangan (-)}$

[SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1418,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur lapangan (+)} \geq 1/2 M \text{ lentur lapangan (-)}$$

$$850,93 \text{ mm}^2 \geq 1/2 \times 1418,21 \text{ mm}^2$$

$$850,93 \text{ mm}^2 \geq 709,11 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

$$M \text{ lentur lapangan (+)} \geq 1/4 M \text{ lentur tumpuan terbesar (-)}$$

$$850,93 \text{ mm}^2 \geq 1/4 \times 2836,43 \text{ mm}^2$$

$$850,93 \text{ mm}^2 \geq 709,11 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Kemampuan Penampang

$$a = \left(\frac{As \cdot Fy}{0,85 \times f'c \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1418,21 \times 400}{0,85 \times 35 \times 400} \right)$$

$$= 47,67 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Mn \text{ pasang} &= As \cdot Fy \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1418,21 \times 400 \times \left(506,5 - \frac{47,67}{2} \right) \\ &= 286288941,95 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Cek : } \theta Mn \text{ pasang} > Mn \text{ perlu}$$

$$286288941,95 \text{ Nmm} > 170460666,67 \text{ Nmm} \text{ (Memenuhi)}$$

Jadi, penulangan lentur untuk balok Induk (40/60) As 2 (E-F) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 5D19 dan tulangan tekan 3D19 dengan susunan sebagai berikut:

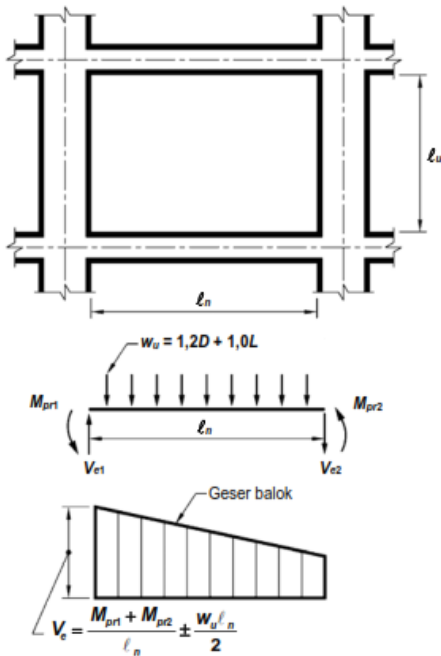
- Tulangan tarik 1 lapis
Lapis 1 : 5D19
- Tulangan Tekan 1 Lapis
Lapis 1 : 3D19

4.5.2.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	: B1 (40/60)
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 600 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 35 MPa
Kuat leleh tul. geser (f_{yv})	: 400 MPa
Diameter tul. geser (\emptyset geser)	: 10 mm
β_1	: 0,85
Faktor reduksi geser (ϕ)	: 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (40/60) As 2(E-f), diperoleh :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4. 31 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMK

Hitung Probable Moment Capacities (Mpr)

Probable Moment Capacities (Mpr)_diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

Tumpuan kanan

As pakai tulangan tarik 10 D19 = 2836,43 mm²

As pakai tulangan tekan 5 D19 = 1418,21 mm²

Tumpuan kiri

As pakai tulangan tarik 10 D19 = 2836,43 mm²

As pakai tulangan tekan 5 D19 = 1418,21 mm²

Perhitungan Mpr untuk tulangan tumpuan kiri (atas)

$$a = \frac{1,25 \cdot As \cdot fy}{0,85 \cdot f'c' \cdot b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,25 \cdot 2836,43 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} \\
 &= 119,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

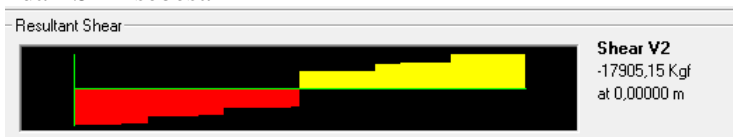
$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= 1,25 \cdot A_s \cdot F_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1,25 \cdot 2836,43 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(506,5 - \frac{119,8}{2} \right) \\
 &= 633815797,89 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan M_{pr} selanjutnya ditampilkan dalam tabel 4.12

Tabel 4. 17 M_{pr} balok dari luasan tulangan tumpuan kiri dan kanan

	LOKASI		TUL.	As	a	Mpr
Tumpuan	KIRI	ATAS	10	2836.43	119.18	633815797.89
		BAWAH	5	1418.21	119.18	316907898.95
	KANAN	ATAS	10	2836.43	119.18	633815797.89
		BAWAH	5	1418.21	119.18	316907898.95

Reaksi geser balok akibat kombinasi 1,2 D+1L didapatkan dari SAP sebesar



Gambar 4. 32 Geser balok akibat kombinasi 1,2 D+ 1 L

$$V_g = 179050 \text{ N}$$

- Struktur bergoyang ke kanan

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway-ka}} &= \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{l_n} \\
 &= \frac{633815797,89 \text{ Nmm} + 316907898,95 \text{ Nmm}}{7350 \text{ mm}} \\
 &= 117373,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok

$$= 179050 \text{ N} - 117373,3 \text{ N} = 61676,7 \text{ N}$$

Arah geser ke bawah

Total reaksi geser di ujung kanan balok

$$= 179050 \text{ N} + 117373,3 \text{ N} = 296423,3 \text{ N}$$

Arah geser ke atas

- Struktur bergoyang ke kiri

$$V_{\text{sway-ka}} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{ln} = \frac{633815797,89 \text{ Nmm} + 316907898,95 \text{ Nmm}}{7350 \text{ mm}}$$

$$= 117373,3 \text{ N}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok

$$= 179050 \text{ N} - 117373,3 \text{ N} = 61676,7 \text{ N}$$

Arah geser ke bawah

Total reaksi geser di ujung kanan balok

$$= 179050 \text{ N} + 117373,3 \text{ N} = 296423,3 \text{ N}$$

Arah geser ke atas

c. Senggang untuk Gaya Geser

V_c harus diambil=0 pada perencanaan pada daerah sendi plastis apabila :

1. Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ atau lebih kuat geser perlu maksimum V_u di sepanjang bentang,

Arah gerakan gempa	V_{sway}	Left		Right	
		V_u	$\frac{1}{2}V_u$	V_u	$\frac{1}{2}V_u$
kanan	117373,3	61676,7	30838	296423,3	27391
kiri	117373,3	296423,3	79311	61676,7	79311

Jadi diperoleh bahwa V_{sway} melebihi $\frac{1}{2} V_u$

2. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{20} = 360000 \text{ N}$$

gaya aksial tekan akibat gempa = $296423,3 \text{ N} < 360000 \text{ N}$

Karena memenuhi kedua kondisi diatas maka perencanaan geser pada balok tidak memperhitungkan V_c atau $V_c=0$

- **Muka kolom interior kiri**

$$V_u \max = 296423,3 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{296423,3}{0,75} - 0 = 395231 \text{ N}$$

Nilai V_s maksimum :

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 506,5 = 395537,26 \text{ N}$$

$V_s < V_{s_{\max}}$ OK, syarat V_s maksimum terpenuhi

Dicoba diameter tulangan sengkang Ø12 dengan 2 kaki ($A_v = 196,76 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{196,76 \cdot 400 \cdot 509}{395537,26} = 121,04 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } s = 100 \text{ mm}$$

Nilai V_s jika dipakai $s = 100 \text{ mm}$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{196,76 \cdot 400 \cdot 506,5}{100} = 478368 \text{ N}$$

Jadi, digunakan sengkang **2 kaki Ø12 – 100 mm**

- **Muka kolom interior kanan**

$$V_u \max = 296423,3 \text{ N}$$

Maka akan sama seperti muka kolom interior kiri, diperlukan 2 kaki **Ø12** untuk sengkang dengan spasi **100 mm**.

- **Ujung zona sendi plastis ke tengah bentang**

$$V_u \max = (\text{terletak } 2h \text{ dari muka kolom}) = 285289,63,5 \text{ N} \cdot (4,05\text{m} - 1,2\text{m}) / 4,05\text{m} = 199632,02 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{199632,02}{0,75} - 0 = 266176 \text{ N}$$

Dicoba diameter tulangan sengkang Ø12 dengan 2 kaki ($A_v = 196,29 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{196,29 \cdot 400 \cdot 506,5}{266176} = 208 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } s = 200 \text{ mm}$$

Nilai V_s jika dipakai $s = 200 \text{ mm}$

Jadi, digunakan sengkang **2 kaki D12 – 200 mm**

SNI pasal 21.5.3.1 mensyaratkan bahwa sengkang harus dipasang sepanjang jarak $2h$ dari muka kolom terdekat

$$2h = 2 \cdot 600 = 1200 \text{ mm}$$

SNI pasal 21.5.3.2 mensyaratkan bahwa sengkang pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat dan yang berikutnya dipasang dengan spasi terkecil di antara:

- $d/4 = 505,6/4 = 132,1 \text{ mm}$
- $6 \times \text{diameter tulangan longitudinal terkecil} = 6 \times 19 \text{ mm} = 118 \text{ mm}$
- 150 mm
- Tapi tidak perlu kurang dari 100 mm. Dengan demikian tulangan sengkang di daerah sendi plastis yaitu disepanjang $2h$ dari muka kolom menggunakan sengkang tertutup **2 kaki Ø 12-100**.

4.5.2.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12**.

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3**, dan faktor modifikasi dari **pasal 12.2.4**, dan **pasal 12.2.5**.

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

- Perhitungan Panjang Penyaluran :

$$ld = \left[\frac{f_y \cdot \Psi_t \Psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right] d_b$$

Dimana,

f_c' = kuat tekan beton (35 Mpa)

f_y = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

Ψ_t = faktor lokasi penulangan (1,3)

Ψ_e = faktor pelapis (1)

λ = faktor beton agregat ringan (1,0)

d_b = diameter nominal tulangan (19)

$$ld = \left[\frac{400 \cdot 1,3 \cdot 1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35}} \right] \times 19$$

$$ld = 795 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}$$

$$795 \text{ mm} > 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam ld diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan. **[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.5]**

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{2632,3}{2836,43} \right] \times 795 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ld = 737,9 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 750 mm

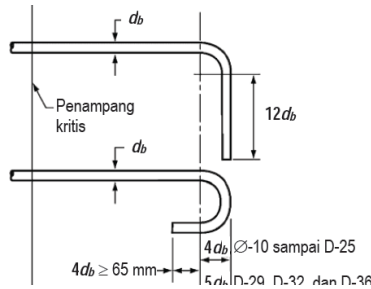
Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri kait standart ldh ditentukan dari **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.5.3.** Tetapi tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart

- Perhitungan Penyaluran Kait:



Gambar 4. 3 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart

$$\text{Untuk batang tulangan ulir } ldh = \frac{0,24 \times \Psi_e \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \times d_b$$

Dimana,

f_c' = kuat tekan beton (35 Mpa)

f_y = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

Ψ_e = faktor pelapis (1)

λ = faktor beton agregat ringan (1,0)

d_b = diameter nominal tulangan (19)

$$ldh = \frac{0,24 \times 1 \times 400}{1,0 \times \sqrt{35}} \times 19$$

$$ldh = 308 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran kait tulangan dalam kondisi tarik 350 mm

Panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 198 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan l_{dc} dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2.** dan faktor modifikasi dari **pasal 12.3.3.** Tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Untuk batang tulangan ulir l_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari :

$$a. \quad l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{35}} \right) \times 19$$

$$l_{dc} = 308 \text{ mm}$$

$$b. \quad l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) \times 19$$

$$l_{dc} = 327 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} dipilih 327 mm

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam l_{dc} diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.3]

$$\text{Reduksi ldc} = \left[\frac{\text{As perlu}}{\text{As pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi ldc} = \left[\frac{570,43}{760,57} \right] \times 327 \text{ mm}$$

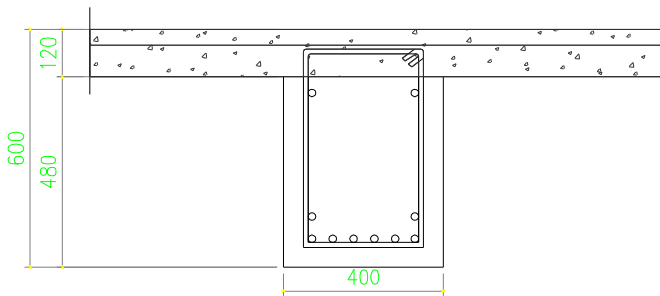
$$\text{Reduksi ldc} = 231 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

Panjang kait

$$4 d_b + 4 d_b = 4(19) + 4(19) = 176 \text{ mm}$$

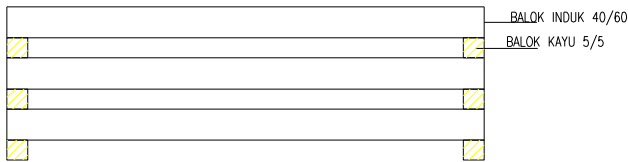
4.5.3.4 Kontrol Balok Pracetak

Balok pracetak direncanakan sebagai rectangular beam dengan tinggi dikurangi setinggi pelat. Balok pracetak diproduksi di pabrik sebelum akhirnya dibawa ke lapangan untuk di pasang. Oleh karena itu, diperlukan beberapa kontrol diantaranya, kontrol penumpukan, kontrol pengangkatan, kontrol pemasangan, dan kontrol pengecoran. Dimensi balok induk pracetak diperlihatkan seperti gambar berikut:



4.5.3.4.1 Kontrol Penumpukan

Untuk menghindari kerusakan beton pracetak akibat penumpukan yang berlebihan di lapangan, maka diperlukan standar jumlah penumpukan. Jumlah penumpukan yang diizinkan dalam perencanaan ini adalah 3 tumpukan dengan masing- masing balok diberi tumpuan balok kayu pada setiap ujungnya seperti terlihat pada gambar. Hal ini menyebabkan terjadinya momen pada daerah lapangan sehingga perlu di cek apakah momen yang terjadi lebih besar dari tulangan lapangan terpasang. Penumpukan dilakukan ketika umur beton 3 hari dengan $f_{ci} = 0,46 f_c = 0,46 \cdot 35 \text{ Mpa}$, $f_{ci} = 16,1 \text{ Mpa}$



g. Data Perencanaan

$$\begin{aligned}
 b &= 400 \text{ mm} & d_{\text{pra}} &= h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul. angk} \\
 h_{\text{tot}} &= 600 \text{ mm} & &= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm} \\
 h_{\text{pra}} &= 480 \text{ mm} \\
 t_{\text{pelat}} &= 120 \text{ mm} \\
 t_{\text{sel}} &= 40 \text{ mm} \\
 L &= 7350 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

h. Pembebanan

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri Precast } q &= n \cdot \text{tumpukan} \cdot \text{b.h. BJ} \\
 &= 3 \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 1382 \text{ kg/m} \\
 Q_u &= q \cdot 1, 2 \\
 &= 1659 \text{ kg/m} \\
 \text{Beban Pekerja } P &= 100 \text{ kg} \\
 P_u &= P \cdot 1,6 \\
 &= 160 \text{ kg} \\
 M &= \frac{1}{8} \cdot Q_u \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_u \cdot L \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 1659 \text{ kg/m} \cdot (7,35 \text{ m})^2 + \frac{1}{4} \cdot 160 \text{ kg} \cdot 7,35 \text{ m} \\
 &= 11496,11 \text{ kgm} \\
 \text{Faktor kejut} &= 1,5 \\
 M_u &= 17244,158 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

i. Perhitungan penulangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\
 &= \frac{17244,158 \text{ kgm}}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$= 19160,17 \text{ kgm}$$

$$= 191601760 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{191601760 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,651$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 29,199$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 29,199 \cdot 2,651}{400}} \right]$$

$$= 0,00744$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00744 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm}$$

$$= 1264,54 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2}$$

$$= \frac{183,92}{\frac{1}{4} \pi \cdot 19^2}$$

$$= 4,17 \sim 5 \text{ tulangan}$$

$$A_s \text{ pasang} = n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2$$

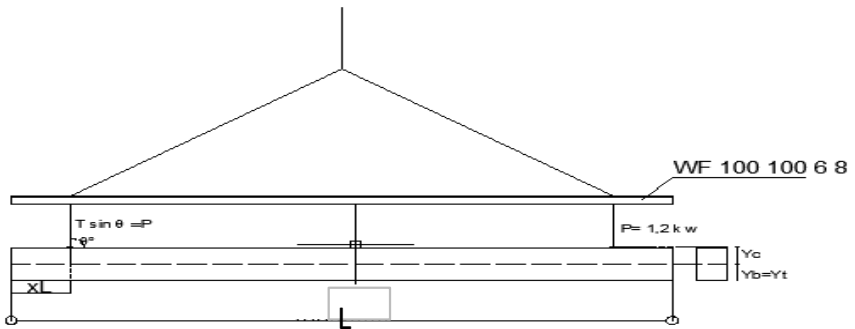
$$= 1417,64 \text{ mm}^2$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 5 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat penumpukan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.5.3.4.2 Kontrol Pengangkatan

Balok induk pracetak dibuat di pabrik sehingga harus dirancang untuk menghindari kerusakan pada waktu proses

pengangkatan. Titik angkat dan tulangan angkat tambahan harus dipasang untuk menahan momen akibat pengangkatan. Pengangkatan dilakukan ketika umur beton 3 hari dengan $f_{ci} = 0,46 f_c = 0,46 \cdot 35 \text{ Mpa} = 16,1 \text{ Mpa}$. Berdasarkan PCI Design Handbook (PCI fig. 5. 2.8), momen akibat pengangkatan diberikan sebagai berikut



Dimana

$$+M = \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \tan \theta} \right)$$

$$-M = \frac{W X^2 L^2}{2}$$

$$X = \frac{1 + \frac{4Y_c}{L \tan \theta}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{Y_a}{Y_b} \left(1 + \frac{4Y_c}{L \tan \theta} \right)} \right)}$$

g. Data perencanaan:

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$d_{pra} = h_{pra} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk}$$

$$h_{tot} = 600 \text{ mm}$$

$$= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm}$$

$$h_{pra} = 480 \text{ mm}$$

$$t_{pelat} = 120 \text{ mm}$$

$$t_{\text{sel}} = 40 \text{ mm}$$

$$L = 7350 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y_t = Y_b &= 0,5 \times (h - t_{\text{pelat}}) \\ &= 0,5 \times (600 \text{ mm} - 120 \text{ mm}) \\ &= 240 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$Y_c = Y_t + 50 \text{ mm}$$

$$= 290 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X &= \frac{1 + \frac{4.290}{7350 \tan 45^\circ}}{2 \left(1 + \sqrt{1 + \frac{240}{290} \left(1 + \frac{4.290}{7350 \tan 45^\circ} \right)} \right)} \\ &= 0,2126 \end{aligned}$$

$$\text{Posisi titik angkat} = X \cdot L$$

$$= 0,2126 \cdot 7350 \text{ mm}$$

$$= 1563 \text{ mm} = 1,6 \text{ m}$$

$$W_{\text{balok}} = b \times h \times L_{\text{balok}} \times BJ_{\text{beton}}$$

$$= 0,4 \text{ m} \times 0,48 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 460,8 \text{ kg/m}$$

h. Perhitungan tulangan lentur saat pengangkatan

Daerah lapangan

$$\begin{aligned} +M &= \frac{WL^2}{8} \left(1 - 4X + \frac{4Y_c}{L \times \tan \theta} \right) \\ &= \frac{460,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot (7,35 \text{ m})^2}{8} \left(1 - 4 \cdot 0,2126 + \frac{4.290 \text{ mm}}{7,35 \times \tan 45^\circ} \right) \\ &= 1434,99 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$M_u = M \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1434,99 \text{ kgm} \times 1,5 \\
 &= 2152,49 \text{ kgm} = 21524900 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{21524900 \text{ Nmm}}{0,9} = 23916534,24 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{23916534,24 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 0,331$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 29,199$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 29,199 \cdot 0,331}{400}} \right] \\
 &= 0,00083
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00083 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\
 &= 183,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 12 mm.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} \\
 &= \frac{183,92}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2} \\
 &= 1,626 \sim 2 \text{ tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\
 &= 196,195 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 2 Ø 12 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pengangkatan tidak perlu tulangan tambahan.

Daerah tumpuan

$$-M = \frac{W X^2 L^2}{2}$$

$$= \frac{460,8 \frac{kg}{m} \cdot 0,2126^2 \cdot 7,35 m^2}{2}$$

$$= 562,556 \text{ kgm}$$

$$Mu = M \times 1,5 \text{ (faktor kejut)}$$

$$= 562,556 \text{ kgm} \times 1,5$$

$$= 843,834 \text{ kgm} = C \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{8438340 \text{ Nmm}}{0,9} = 937593,03 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{937593,03 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 0,12977$$

$$m = \frac{fy}{0,85 fc} = 29,199$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot Rn}{Fy}} \right]$$

$$= \frac{1}{29,199} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 29,199 \cdot 0,12977}{400}} \right]$$

$$= 0,00033$$

$$As = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00033 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm}$$

$$= 88,437 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan diameter 10 mm.

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{As}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2}$$

$$= \frac{88,437}{\frac{1}{4} \pi \cdot 10^2}$$

$$= 1,13 \sim 2 \text{ tulangan}$$

$$As \text{ pasang} = n \cdot \frac{1}{4} \pi \cdot d^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jadi pada daerah tumpuan dipasang tulagan lentur tambahan

Ø 10

i. Perhitungan Tulangan Angkat

Mutu baja pengangkatan BJ 37

Direncanakan profil WF 100.100.6.8

$$A = 21,9 \text{ cm}^2$$

$$W = 17,2 \text{ kg/m}$$

$$I_x = 383 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 134 \text{ cm}^4$$

Pembebanan :

$$\text{Balok} = q_{D_{\text{balok}}} \times L = 0,4 \times 0,48 \times 2400 \times 7,35 = 3387 \text{ kg}$$

$$\text{Profil} = W_{\text{profil}} \times L = 17,2 \text{ kg/m} \times 7,35 \text{ m} = 126,4 \text{ kg}$$

$$W_{\text{total}} = 3513 \text{ kg}$$

Gaya pada titik angkat (P)

$$T \sin \Theta = P = \frac{1,2 \times k \times W}{2}$$

Dengan $k = 1,2$

$$P = \frac{1,2 \times 1,2 \times 3513}{2}$$

$$= 2530 \text{ kg} = 25300 \text{ N}$$

Menurut PBBI pasal 2. 2. 2 tegangan ijin tarik baja adalah $f_y/1,5$

$$\sigma_{\text{tarik ijin}} = f_y/1,5 = 400/1,5 = 267 \text{ Mpa}$$

$$\varnothing_{\text{tul. Angkat}} \geq \sqrt{\frac{4 \cdot P_u}{\sigma_{\text{tarik ijin}} \cdot \pi}}$$

$$\varnothing_{\text{tul. Angkat}} > \sqrt{\frac{4 \cdot 25300 \text{ N}}{267 \text{ Mpa} \cdot \pi}}$$

$$\varnothing_{\text{tul. Angkat}} \geq 10,99 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan angkat diameter 12 mm

Penentuan kedalaman angkur berdasarkan analisa kekuatan pecah beton dari angkur terhadap gaya tarik

$$h_{\text{ef}} = \sqrt[3]{\left(\frac{N_n}{k_c \cdot \sqrt{f_c}}\right)^2} \quad \text{umur beton} = 7 \text{ hari} \text{---- } f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$$

$$= \sqrt[3]{\left(\frac{25300 \text{ N}}{10 \cdot \sqrt{19,8 \text{ Mpa}}}\right)^2}$$

$$= 65,5 \text{ mm} \sim 70 \text{ mm}$$

4.5.3.4.3 Kontrol Pemasangan

Kontrol pemasangan (erection) adalah saat dimana balok setelah diangkat kemudian dipasang pada konsol. Pada kondisi ini, balok harus mampu memikul berat sendirinya sebelum dicor secara monolit dengan pelat dan kolom. Berikut ini adalah perhitungan tulangan saat pemasangan. Pemasangan dilakukan saat umur beton 7 hari $f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$

g. Data Perencanaan

$$\begin{aligned} b &= 400 \text{ mm} & d_{\text{pra}} &= h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk} \\ h_{\text{tot}} &= 600 \text{ mm} & &= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm} \\ h_{\text{pra}} &= 480 \text{ mm} \\ t_{\text{pelat}} &= 120 \text{ mm} \\ t_{\text{sel}} &= 40 \text{ mm} \\ L &= 7350 \text{ mm} \end{aligned}$$

h. Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri Precast } q &= b \cdot h \cdot \text{BJ} \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 460,8 \text{ kg/m} \\ Q_u &= q \cdot 1,2 \\ &= 553 \text{ kg/m} \\ \text{Beban Pekerja } P &= 100 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok anak precast } P &= b \cdot h \cdot \text{BJ} \cdot L_{\text{ba}} \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1846,8 \text{ kg} \\ P_u &= P_{\text{tot}} \cdot 1,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (100 \text{ kg} + 1846,8 \text{ kg}) \cdot 1,6 \\
 &= 3114,88 \text{ kg} \\
 M &= 1/8 \cdot Q_u \cdot L^2 + 1/4 \cdot P_u \cdot L \\
 &= 1/8 \cdot 460,8 \text{ kg/m} \cdot (7,35 \text{ m})^2 + 1/4 \cdot 3114,88 \text{ kg} \cdot 7,35 \text{ m} \\
 &= 11496,11 \text{ kgm} \\
 \text{Faktor kejut} &= 1,5 \\
 M_u &= 14186,44 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

i. Perhitungan penulangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= \frac{14186,44 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 15763,7 \text{ kgm} \\
 &= 157627120 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{157627120 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,181$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 20,685$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{20,685} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 20,685 \cdot 2,181}{400}} \right] \\
 &= 0,00581
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00581 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\
 &= 986,415 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} &= \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2} \\
 &= \frac{986,415}{\frac{1}{4} \pi \cdot 19^2} \\
 &= 3,5 \sim 4 \text{ tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 4 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pemasangan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.5.3.4.4 Kontrol Pengecoran

Kontrol pengecoran adalah saat dimana balok pracetak yang telah terpasang dicor bersamaan dengan half slab dan sisa balok yang belu dicor . Pada kondisi ini, balok harus mampu memikul berat sendiri, berat beton basah, dan berat pekerja. Berikut ini adalah perhitungan tulangan saat pemasangan. Pemasangan dilakukan saat umur beton 7 hari $f_{ci} = 19,8 \text{ Mpa}$

g. Data Perencanaan

$$\begin{aligned} b &= 400 \text{ mm} & d_{\text{pra}} &= h_{\text{pra}} - \text{selimut} - \frac{1}{2} \cdot \text{tul angk} \\ h_{\text{tot}} &= 600 \text{ mm} & &= 480 - 40 - \frac{1}{2} \cdot 10 = 425 \text{ mm} \\ h_{\text{pra}} &= 480 \text{ mm} \\ t_{\text{pelat}} &= 120 \text{ mm} \\ t_{\text{sel}} &= 40 \text{ mm} \\ L &= 7350 \text{ mm} \end{aligned}$$

h. Pembebanan

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri Precast } q &= b \cdot h \cdot BJ \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 460,8 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= q \cdot 1, 2 \\ &= 553 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban Pekerja } P = 100 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok anak precast } P &= b \cdot h \cdot BJ \cdot L_{\text{ba}} \\ &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,48 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1846,8 \text{ kg} \\
 P_u &= P_{\text{tot}} \cdot 1,6 \\
 &= (100 \text{ kg} + 1846,8 \text{ kg}) \cdot 1,6 \\
 &= 3114,88 \text{ kg} \\
 M &= 1/8 \cdot Q_u \cdot L^2 + 1/4 \cdot P_u \cdot L \\
 &= 1/8 \cdot 460,8 \text{ kg/m} \cdot (7,35 \text{ m})^2 + 1/4 \cdot 3114,88 \text{ kg} \cdot 7,35 \text{ m} \\
 &= 11496,11 \text{ kgm} \\
 \text{Faktor kejut} &= 1,5 \\
 M_u &= 14186,44 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

i. Perhitungan penulangan

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_u / \phi \\
 &= \frac{14186,44 \text{ kgm}}{0,9} \\
 &= 15763,7 \text{ kgm} \\
 &= 157627120 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{157627120 \text{ Nmm}}{400 \cdot 425^2} = 2,181$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} = 20,685$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot R_n}{F_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{20,685} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 20,685 \cdot 2,181}{400}} \right] \\
 &= 0,00581
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\
 &= 0,00581 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 425 \text{ mm} \\
 &= 986,415 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan diameter 19 mm.

$$\text{Jumlah tulangan yang dibutuhkan} = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2}$$

$$= \frac{986,415}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2}$$

$$= 3,5 \sim 4 \text{ tulangan}$$

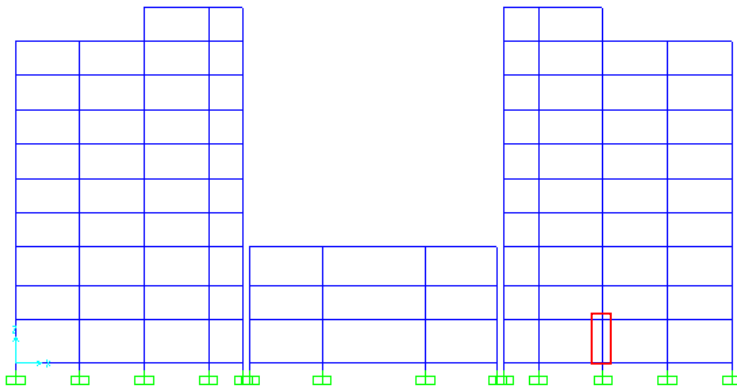
$$\text{As pasang} = n \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= 1134,11 \text{ mm}^2$$

Karena kebutuhan tulangan pengangkatan pada daerah lapangan yaitu 4 D19 lebih kecil dari tulangan yang dipasang akibat momen dari beban total yaitu 6 D 19, maka saat pemasangan tulangan terpasang telah mencukupi..

4.5.2 Perhitungan Kolom

Berbeda dengan balok dan pelat, dalam tugas akhir ini kolom dibangun dengan beton cor ditempat. Adapun dimensi kolom adalah 75/75 pada lantai dasar, dan 75/75 pada lantai diatasnya. Sebagai contoh perhitungan akan diambil kolom 75/75 pada lantai 1. Data perencanaan kolom adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 33 Kolom yang ditinjau (AS B)

Tinggi kolom	: 5 m
Dimensi Kolom	: 750 x750 mm
Mutu beton f_c'	: 35 Mpa
Mutu baja f_y	: 400 Mpa
Ø tul memanjang	: D19 mm (ulir)
Ø tul sengkang	: D13 mm (ulir)

Gaya yang didapat dari SAP adalah sebagai berikut

KOMBINAS	Pu (kN)			Mux(kNm)			Muy(kNm)		
	Atas	Kolom ditinjau	Bawah	Atas	Kolom ditinjau	Bawah	Atas	Kolom ditinjau	Bawah
1,4D	4330.7312	5027.73	5200.0843	54.0516	16.5668	2.0484	9.338	41.2916	144.04
1,2D+1,6L	5176.3863	6028.87	6119.4258	82.0395	8.337	6.9879	24.3744	16.2658	155.908
0,9 D+ 1 EX	2721.0725	3068.8996	3268.7029	97.2094	116.3229	81.7173	223.6841	39.4749	385.226
0,9 D +1 EY	2642.7839	2975.4589	3176.3872	241.75	42.9799	268.5925	78.7343	113.6378	189.466
1D+1L+1EX	4564.2932	5158.7684	5421.8884	131.1104	118.1621	85.4263	235.9166	45.8322	436.37
1D+1L+1EY	4486.0046	5065.3277	5329.5727	275.651	44.8192	272.3015	90.9668	119.995	240.61

4.5.2 .1 Cek syarat komponen struktur penahan gempa

- a. Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi $A_g f'_c / 10$ (SNI2847:2013 pasal 21.6.1).

$$P_u = 5858,695 \text{ kN}$$

$$\frac{A_g \cdot f'_c}{10} = \frac{750 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} \times 30 \text{ Mpa}}{10} = 1968750 \text{ N} = 1986,7 \text{ kN}$$

$$P_u > \frac{A_g f'_c}{10} \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

- b. Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 03-2847:2013 pasal 21.6.1.1)
- c. Sisi terpendek kolom = 750 mm \rightarrow syarat terpenuhi
- d. Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI2847:2013 pasal 21.6.1.2)
- Rasio antara b dan h = 750 mm/750 mm = 1 > 0,4 (OK)

4.5.2. 2 Tentukan tulangan longitudinal penahan lentur.

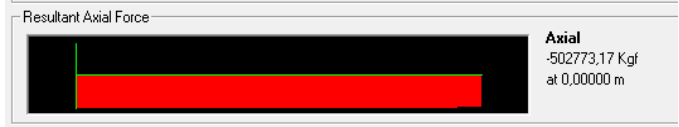
Data Perencanaan :

Tipe Kolom	:
b kolom	: 750 mm
h kolom	: 750 mm
b balok	: 400 mm
h balok	: 600 mm
L kolom LT.1	: 5000 mm
L kolom LT.2	: 4000 mm
L balok memanjang1	: 8000 mm
L balok memanjang 2	: 3000 mm
L balok melintang	: 8000 mm
L sloof memanjang1	: 8000 mm
L sloof memanjang 2	: 3000 mm
L sloof melintang	: 8000 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 35 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_y geser)	: 240 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	: 13 mm
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan (ϕ)	: 0,65
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	: 0,75
Tinggi efektif kolom	
d	= b- decking- \emptyset sengkang - $\frac{1}{2}$ D tul. Lentur
	= 500 mm- 40 mm- 10 mm- $\frac{1}{2}$ 19 mm
	= 440,5 mm
d'	= decking + \emptyset sengkang + $\frac{1}{2}$ D tul.lentur
	= 40 mm+ 10 mm+ $\frac{1}{2}$. 19 mm
	= 59,5 mm
d''	= b- decking- sengkang - $\frac{1}{2}$ D tul.lentur - $\frac{1}{2}$ b
	= 500mm-40 mm-10mm- $\frac{1}{2}$.19mm- $\frac{1}{2}$.500mm
	= 190,5 mm

Berdasarkan hasil output SAP 2000, maka diperoleh gaya aksial dan momen sebagai berikut

Gaya aksial akibat (1,4 D)

$P_u = 5027731,7 \text{ N}$



Gaya aksial terbesar akibat (1,2 D+ 1,6 L)

$P_u = 6028878,2 \text{ N}$



Momen akibat pengaruh beban gravitasi kombinasi 1,2D+1,6L (Mns)

Momen arah sumbu X

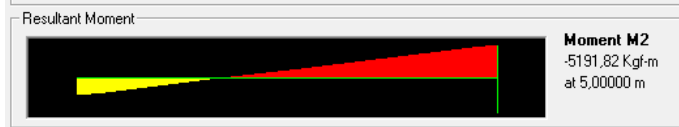


$M_{1ns} = 26739000 \text{ Nmm}$



$M_{2ns} = 20538200 \text{ Nmm}$

Momen arah sumbu Y



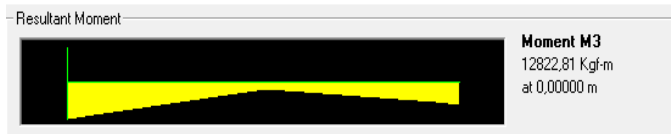
$M_{1ns} = -51918200 \text{ Nmm}$



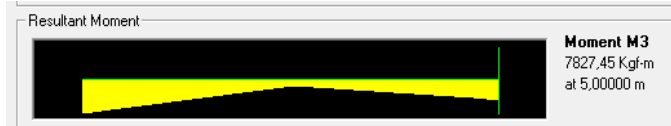
$$M_{2ns} = 26489600 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gempa terbesar kombinasi
1EX +0,3 EY

Momen arah sumbu X

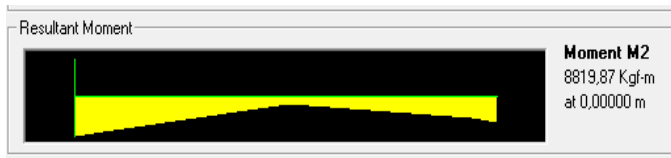


$$M_{1s} = 128228100 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 78274500 \text{ Nmm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{1s} = 88198700 \text{ Nmm}$$



$$M_{2s} = 56405400 \text{ Nmm}$$

➤ Kontrol Kelangsingan Kolom

Menentukan β_d yaitu rasio beban aksial terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum

$$\begin{aligned}\beta_d &= \frac{P_u(1,4D)}{P_u(1,2D+1,6L)} \\ &= \frac{5027731,07 \text{ N}}{6028878,2 \text{ N}} \\ &= 0,87\end{aligned}$$

Menghitung panjang Tekuk kolom (ψ)

$$\Psi = \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom}}{\Sigma(EI/L)_{balok}}$$

$$\begin{aligned}\text{EI kolom} &= \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d} \\ \text{dengan } I_g &= 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 750 \text{ mm} \times (750 \text{ mm})^3 \\ &= 26367187500 \text{ mm}^4 \\ E_c &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{35 \text{ Mpa}} \\ &= 27805,57 \\ \text{Jadi EI klm} &= \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d} \\ &= \frac{0,4 \cdot 27805,57 \cdot 26367187500 \text{ mm}^4}{1+0,87} \\ &= 1,568 \cdot 10^{14} \\ \text{EI balok} &= \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d} \\ \text{dengan } I_g &= 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 1/12 \times 400 \text{ mm} \times (600 \text{ mm})^3 \\ &= 7200000000 \text{ mm}^4 \\ E_c &= 4700 \sqrt{f_c} \\ &= 4700 \sqrt{35 \text{ Mpa}} \\ &= 27805,57 \\ \text{Jadi EI blk} &= \frac{0,4E_c I_g}{1+\beta_d} \\ &= \frac{0,4 \cdot 27805,57 \cdot 7200000000 \text{ mm}^4}{1+0,87} \\ &= 1,07 \cdot 10^{14}\end{aligned}$$

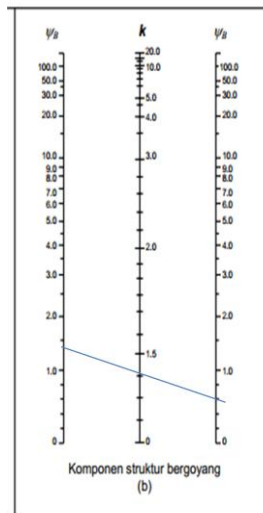
Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k).

Kolom atas

$$\begin{aligned}
 \Psi_a &= \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom}}{\Sigma(EI/L)_{balok}} \\
 &= \frac{(EI/L)_{klm \text{ lt.1}} + (EI/L)_{klm \text{ lt.2}}}{(EI/L)_{blk \text{ mel 1}} + (EI/L)_{blk \text{ mel 2}} + 2 \cdot (EI/L)_{blk \text{ mem}}} \\
 &= \frac{\frac{1,568 \cdot 10^{14}}{5000 \text{ mm}} + \frac{1,568 \cdot 10^{14}}{4000 \text{ mm}}}{\frac{1,07 \cdot 10^{14}}{8100 \text{ mm}} + \frac{1,07 \cdot 10^{14}}{6300 \text{ mm}} + 2 \cdot \frac{1,07 \cdot 10^{14}}{7500 \text{ mm}}} \\
 &= 1,2
 \end{aligned}$$

Kolom bawah

$$\begin{aligned}
 \Psi_b &= \frac{\Sigma(EI/L)_{kolom}}{\Sigma(EI/L)_{balok}} \\
 &= \frac{(EI/L)_{klm \text{ lt.1}} + (EI/L)_{klm \text{ pen dek}}}{(EI/L)_{slf \text{ mel 1}} + (EI/L)_{slf \text{ mel 2}} + 2 \cdot (EI/L)_{slf \text{ mem}}} \\
 &= \frac{\frac{1,568 \cdot 10^{14}}{5000 \text{ mm}} + \frac{1,568 \cdot 10^{14}}{4000 \text{ mm}}}{\frac{2,13 \cdot 10^{14}}{8100 \text{ mm}} + \frac{2,13 \cdot 10^{14}}{6300 \text{ mm}} + 2 \cdot \frac{2,13 \cdot 10^{14}}{7500 \text{ mm}}} \\
 &= 3,01
 \end{aligned}$$



Sehingga faktor panjang efektif (k) = 1,1

Menghitung radius girasi r

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{26367187500 \text{ mm}^4}{750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm}}} \\ &= 216,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Kelangsingan

Jika nilai $\frac{k.Lu}{r} \leq 22$, maka pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

Jika nilai $\frac{k.Lu}{r} \geq 22$, maka kolom langsing

$$\begin{aligned} \frac{k.Lu}{r} &= \frac{1,1 \cdot (5000 \text{ mm} - 600 \text{ mm})}{216,5 \text{ mm}} \\ &= 21,8 < 22, \end{aligned}$$

Karena $\frac{k.Lu}{r} = 21,8 < 22$, maka kolom termasuk kolom nonlansing

➤ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah X**

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya momen dalam arah X pada kolom K-1 sebagai berikut:

Momen Akibat Beban Gravitasi kombinasi 1,2D+ 1,6L

$$M_{1ns} = 26739000 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 20538200 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Beban gempa kombinasi

$$-0,39E_x - 1,3 E_y$$

$$M_{1s} = 128228100 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 78274500 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k.Lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 1,568 \cdot 10^{14}}{(1,1 \cdot (5000 \text{ mm} - 600 \text{ mm}))^2} \\ &= 21032707,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 57 \times 21032707,15 \text{ N} \\ &= 1177831601 \text{ N}\end{aligned}$$

$$P_u = 6028878,2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 57 \times 6028878,2 \text{ N} \\ &= 337617179,2\end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\begin{aligned}\delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \\ &= 1,06\end{aligned}$$

Pembesaran Momen

$$\begin{aligned}M_1 X &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 26739000 \text{ Nmm} + (1,06 \times 128228100 \text{ Nmm}) \\ &= 155848249,1 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_2 X &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 20538200 \text{ Nmm} + (1,06 \times 78274500 \text{ Nmm}) \\ &= 99350581,36 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Maka diambil momen terbesar yaitu

$$M_1 X = 155848249,1 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_1 X}{\phi} \\ &= \frac{155848249,1 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 239766537,1 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{6028878,2 \text{ N}}{0,65} \\ &= 6346187,58 \text{ N}\end{aligned}$$

Perhitungan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

Sumbu Vertikal

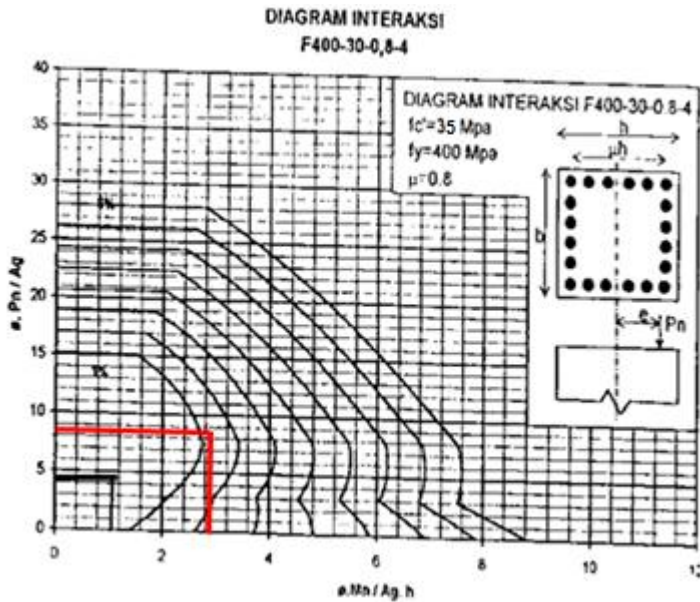
$$\frac{Pu}{bh} = \frac{6028878}{750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm}} = 8,04$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{Mu}{bh^2} = \frac{2,4 \cdot 10^8 \text{ Nmm}}{750 \text{ mm} \cdot (750 \text{ mm})^2} = 2,91$$

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \text{Øgeser}) - D_{\text{lentur}} \\ &= 750 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 13) - 19 \\ &= 381 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} \\ &= 0,762 \approx 0,8 \end{aligned}$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 1,41 \%$

Jadi Luas Tulangan lentur kolom (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,014 \cdot 750 \text{ mm} \cdot 687,5 \text{ mm} \\ &= 7931,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang (n)

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{7931,25}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2} = 27,8 \approx 28 \text{ tulangan}$$

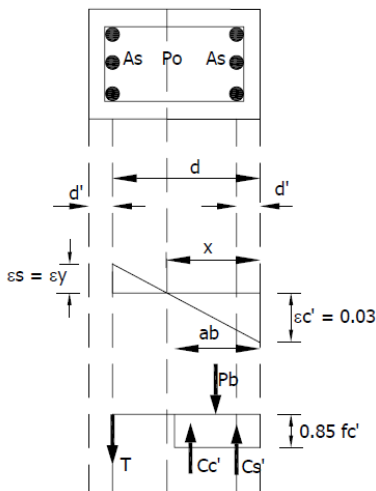
$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 28 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 7938,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mencari e_{\min} dan e_{perlu}

$$\begin{aligned} e_{\min} &= (15 + 0,03 \cdot h) \\ &= (15 + 0,03 \cdot 750 \text{ mm}) \\ &= 37,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{Mu}{Pu} = \frac{239766537,1 \text{ Nmm}}{6028878,2 \text{ N}} = 39,78 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance



Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 687,5 \text{ mm}$$

$$d' = 62,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 312,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} xb &= \frac{600}{(600 + f_y)} d \\ &= \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \cdot 687,5 \text{ mm} \\ &= 412,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= 0,85 \cdot xb \\ &= 0,85 \cdot 412,5 \text{ mm} \\ &= 350,625 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 f_c') \\
 &= 7938,8 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}) \\
 &= 2939342,416 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot F_y \\
 &= 7938,8 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \\
 &= 3175521,854 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot B \cdot X_b \\
 &= 0,85 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 412,5 \text{ mm} \\
 &= 7823320,313 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 7823320,313 \text{ N} + 2939342,416 - 3175521,854 \text{ N} \\
 &= 7587140,875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \cdot e_b \\
 &= C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
 &= 2101588517 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{M_b}{P_b} \\
 &= \frac{2101588517 \text{ Nmm}}{7587140,875 \text{ N}} \\
 &= 276,99
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

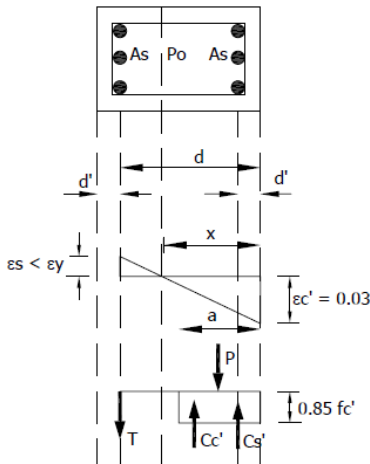
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tekan Menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}}$ (Kondisi Tarik Menentukan)

Karena $e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$

$37,5 \text{ mm} < 37,8 \text{ mm} < 276,99 \text{ mm}$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan
Kontrol kondisi tekan menentukan



Direncanakan X sebesar 413 mm

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{440,5 \text{ mm}}{413 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= \left(\frac{687,5 \text{ mm}}{413 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 398 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200.000 \text{ Mpa}} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol : $\epsilon_s < \epsilon_y$
 $0,0018 < 0,002..$ (memenuhi)
 $f_s < f_y$
 $398 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s'(f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 7938,8 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}) \\
 &= 2939342,416 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 35 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm} \times 413 \text{ mm} \\
 &= 7832803,125 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\
 &= 7938,8 \text{ mm}^2 \left(\frac{687,5 \text{ mm}}{413 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\
 &= 3165910,711 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 7832803,125 \text{ N} + 7832803,125 \text{ N} - 3165910,711 \text{ N} \\
 &= 7606234,831 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat : } P &> P_b \\
 7606234,831 \text{ N} &> 7587140,875 \text{ N (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c' \left(d - d'' - \frac{\beta_1 X}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
 &= 3470340006 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,65 \cdot 3470340006 \text{ Nmm} \\
 &= 2255721004 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}
 \phi M_{n_{\text{pasang}}} &> M_n \\
 2255721004 \text{ Nmm} &> 239766537,1 \text{ Nmm (OK)}
 \end{aligned}$$

➤ **Peninjauan Kolom Akibat Momen Arah Y**

Berdasarkan hasil output program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya momen dalam arah X pada kolom K-1 sebagai berikut:

Momen Akibat Beban Gravitasi kombinasi 1,2D+ 1,6L

$$M_{1ns} = 26739000 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 20538200 \text{ Nmm}$$

Momen Akibat Beban gempa kombinasi

$$-0,39E_x - 1,3 E_y$$

$$M_{1s} = 128228100 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 78274500 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (P kritis) pada kolom

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot Lu)^2} \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 1,568 \cdot 10^{14}}{(1,1 \cdot (5000 \text{ mm} - 600 \text{ mm}))^2} \\ &= 21032707,15 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 57 \times 21032707,15 \text{ N} \\ &= 1177831601 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 6028878,2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 57 \times 6028878,2 \text{ N} \\ &= 337617179,2 \end{aligned}$$

Menghitung Faktor Pembesaran Momen (δ_s)

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \\ &= 1,06 \end{aligned}$$

Pembesaran Momen

$$\begin{aligned} M_1 X &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\ &= 26739000 \text{ Nmm} + (1,06 \times 128228100 \text{ Nmm}) \\ &= 155848249,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 X &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\ &= 20538200 \text{ Nmm} + (1,06 \times 78274500 \text{ Nmm}) \\ &= 99350581,36 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka diambil momen terbesar yaitu

$$M_1 X = 155848249,1 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_1 X}{\phi} \\ &= \frac{155848249,1 \text{ Nmm}}{0,65} \\ &= 239766537,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{6028878,2 \text{ N}}{0,65} \end{aligned}$$

$$= 6346187,58 \text{ N}$$

Perhitungan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

Sumbu Vertikal

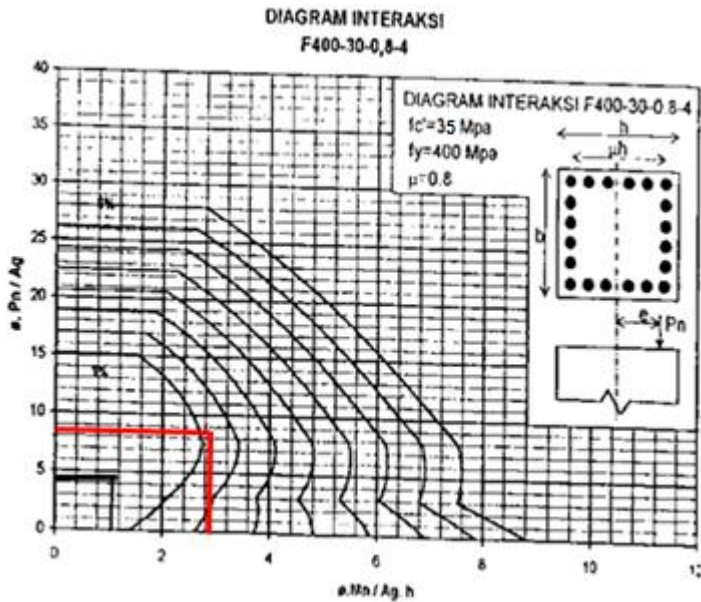
$$\frac{P_u}{bh} = \frac{6028878}{750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm}} = 8,04$$

Sumbu Horizontal

$$\frac{M_u}{bh^2} = \frac{2,4 \cdot 10^8 \text{ Nmm}}{750 \text{ mm} \cdot (750 \text{ mm})^2} = 2,91$$

$$\begin{aligned} \mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - D \text{ lentur} \\ &= 750 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 13) - 19 \\ &= 381 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} \\ &= 0,762 \approx 0,8 \end{aligned}$$



Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 1,41 \%$

Jadi Luas Tulangan lentur kolom (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,014 \cdot 750 \text{ mm} \cdot 687,5 \text{ mm} \\ &= 7931,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang (n)

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{7931,25}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2} = 27,8 \approx 28 \text{ tulangan}$$

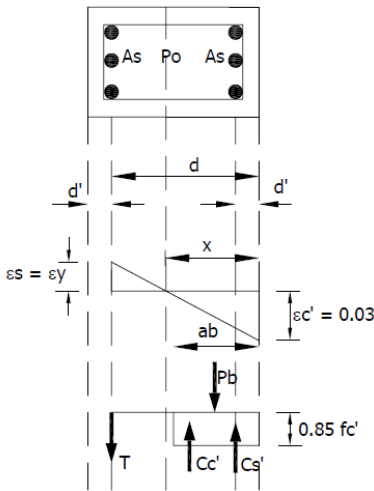
$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right) \\ &= 28 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 \right) \\ &= 7938,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Mencari e_{\min} dan e_{perlu}

$$\begin{aligned} e_{\min} &= (15 + 0,03 \cdot h) \\ &= (15 + 0,03 \cdot 750 \text{ mm}) \\ &= 37,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$e_{\text{perlu}} = \frac{M_u}{P_u} = \frac{239766537,1 \text{ Nmm}}{6028878,2 \text{ N}} = 39,78 \text{ mm}$$

Cek Kondisi Balance



Syarat : $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow (f_s = f_y)$

$$d = 687,5 \text{ mm}$$

$$d' = 62,5 \text{ mm}$$

$$d'' = 312,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} x_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} d \\ &= \frac{600}{(600 + 400 \text{ Mpa})} \cdot 687,5 \text{ mm} \\ &= 412,5 \text{ mm} \\ ab &= 0,85 \cdot X_b \\ &= 0,85 \cdot 412,5 \text{ mm} \\ &= 350,625 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 f_c') \\
 &= 7938,8 \text{ mm}^2 \cdot (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}) \\
 &= 2939342,416 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot F_y \\
 &= 7938,8 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \\
 &= 3175521,854 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot B \cdot X_b \\
 &= 0,85 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 412,5 \text{ mm} \\
 &= 7823320,313 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 7823320,313 \text{ N} + 2939342,416 - 3175521,854 \text{ N} \\
 &= 7587140,875 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= C_c' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
 &= 2101588517 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{M_b}{P_b} \\
 &= \frac{2101588517 \text{ Nmm}}{7587140,875 \text{ N}} \\
 &= 276,99
 \end{aligned}$$

Kontrol Kondisi :

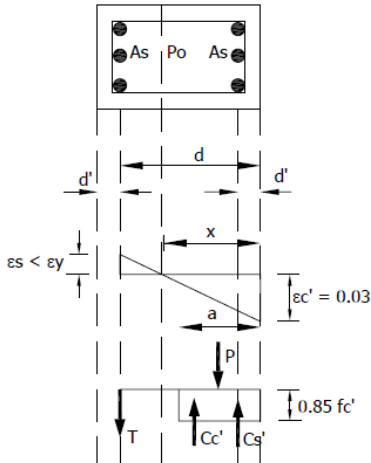
$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tekan Menentukan)}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balanced}} \text{ (Kondisi Tarik Menentukan)}$$

$$\text{Karena } e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$37,5 \text{ mm} < 37,8 \text{ mm} < 276,99 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk dalam kondisi tekan menentukan
Kontrol kondisi tekan menentukan



Direncanakan X sebesar 413 mm

Syarat : $\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow (f_s < f_y)$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{440,5 \text{ mm}}{413 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= \left(\frac{687,5 \text{ mm}}{413 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 398 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

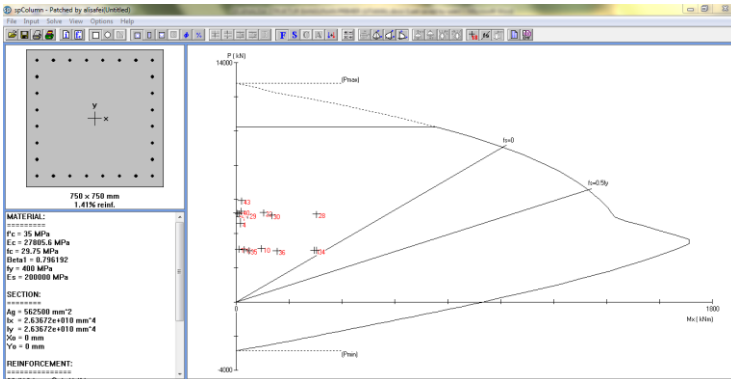
$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{400 \text{ Mpa}}{200.000 \text{ Mpa}} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol : $\epsilon_s < \epsilon_y$
 $0,0018 < 0,002..$ (memenuhi)
 $f_s < f_y$
 $398 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa}$

$$\begin{aligned}
Cs' &= As'(f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
&= 7938,8 \text{ mm}^2 (400 \text{ Mpa} - 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}) \\
&= 2939342,416 \text{ N} \\
Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\
&= 0,85 \times 0,85 \times 35 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm} \times 413 \text{ mm} \\
&= 7832803,125 \text{ N} \\
T &= As \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\
&= 7938,8 \text{ mm}^2 \left(\frac{687,5 \text{ mm}}{413 \text{ mm}} - 1 \right) \cdot 600 \\
&= 3165910,711 \text{ N} \\
P &= Cc' + Cs' - T \\
&= 7832803,125 \text{ N} + 7832803,125 \text{ N} - 3165910,711 \text{ N} \\
&= 7606234,831 \text{ N} \\
\text{Syarat : } P &> P_b \\
7606234,831 \text{ N} &> 7587140,875 \text{ N (OK)} \\
Mn &= Cc' \left(d - d'' - \frac{\beta \cdot X}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d' \\
&= 3470340006 \text{ Nmm} \\
\phi Mn &= 0,65 \cdot 3470340006 \text{ Nmm} \\
&= 2255721004 \text{ Nmm} \\
\text{Cek syarat : } \phi Mn_{\text{pasang}} &> Mn \\
2255721004 \text{ Nmm} &> 239766537,1 \text{ Nmm (OK)}
\end{aligned}$$

Luas tulangan longitudinal penahan lentur tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$ (SNI32847:2013 pasal 21.6.3.1). Dari trial error dengan PCACOL didapat konfigurasi tulangan longitudinal 20D25 dengan $\rho = 1,41\%$ seperti pada Gambar 7.5

Cek dalam SP Col



4.5.2.3 Cek Kuat Kolom (Strong column weak beam)

SNI pasal 21.6.2.2 menyatakan bahwa kuat kolom ϕM_n harus memenuhi $\Sigma M_c \geq 1,2 \Sigma M_g$

ΣM_c = jumlah M_n dua kolom yang bertemu di join

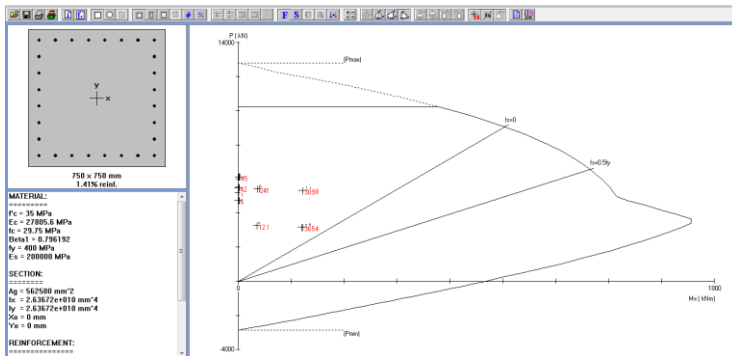
ΣM_g = jumlah M_n dua balok yang bertemu di join

$$M_{nb}^- = 520574196,36 \text{ Nmm} = 520,57 \text{ kN-m}$$

$$M_{nb}^+ = 260287098,18 \text{ Nmm} = 260,287 \text{ kN-m}$$

$$1,2 \cdot \Sigma M_g = 1,2 (520,57 + 260,287) = 937,084 \text{ kN-m}$$

Nilai M_{nc} didapat dari diagram interaksi P - M dengan PCACOL dari kolom bawah dan kolom atas.

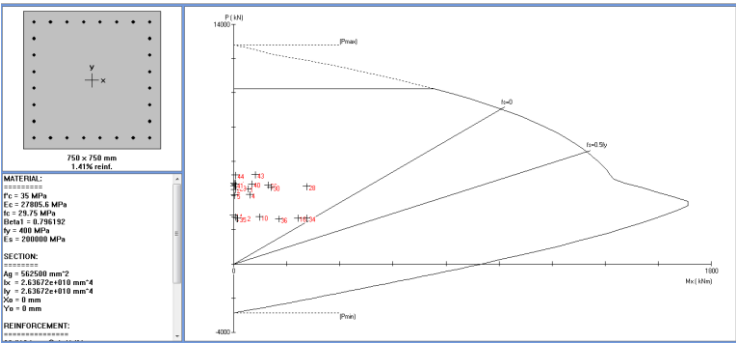


Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:

No.	Pu kN	Mux kNm	fMnx kNm	fMn/Mu NA depth mm	Dt depth mm	eps_r	Phi	
1	5212.99	2.05	1418.74	692.608	436	691	0.00176	0.650
2	5206.54	-0.43	-1419.06	999.999	435	691	0.00176	0.650
3	5200.08	-2.91	-1419.38	487.222	435	691	0.00176	0.650
4	4762.44	4.73	1459.64	308.383	402	691	0.00215	0.662
5	4757.84	3.05	1460.85	479.108	402	691	0.00216	0.663
6	4753.23	1.37	1462.06	999.999	401	691	0.00217	0.664
7	6130.48	6.99	1363.07	195.062	491	691	0.00122	0.650
8	6124.96	5.00	1363.47	272.579	491	691	0.00122	0.650
9	6119.43	3.02	1363.86	452.164	490	691	0.00123	0.650
10	3277.00	81.72	1692.14	20.707	246	691	0.00541	0.900
11	3272.85	76.44	1691.45	22.126	246	691	0.00542	0.900
12	3268.70	71.17	1690.76	23.755	246	691	0.00542	0.900

13	3425.41	-79.08	-1715.77	21.696	254	691	0.00516	0.900
14	3421.27	-77.00	-1715.18	22.275	254	691	0.00517	0.900
15	3417.12	-74.92	-1714.59	22.856	254	691	0.00518	0.900
16	3184.68	268.59	1676.64	6.242	242	691	0.00557	0.900
17	3180.53	254.72	1675.94	6.580	242	691	0.00558	0.900
18	3176.39	240.85	1675.24	6.956	241	691	0.00559	0.900
19	3517.73	-265.96	-1728.88	6.501	258	691	0.00503	0.900
20	3513.58	-255.28	-1728.36	6.770	258	691	0.00503	0.900
21	3509.44	-244.59	-1727.71	7.064	258	691	0.00504	0.900
22	5432.95	85.43	1407.39	16.475	449	691	0.00162	0.650
23	5427.42	79.71	1407.70	17.660	448	691	0.00162	0.650
24	5421.89	74.00	1408.01	19.028	448	691	0.00163	0.650
25	5581.36	-75.37	-1398.84	18.559	457	691	0.00153	0.650
26	5575.83	-73.74	-1399.17	18.976	457	691	0.00153	0.650
27	5570.31	-72.10	-1399.49	19.411	457	691	0.00154	0.650
28	5340.63	272.30	1412.28	5.186	443	691	0.00168	0.650
29	5335.10	257.98	1412.56	5.475	443	691	0.00168	0.650
30	5329.57	243.67	1412.85	5.798	443	691	0.00168	0.650
31	5673.68	-262.25	-1393.30	5.313	463	691	0.00148	0.650
32	5668.15	-252.01	-1393.64	5.530	463	691	0.00148	0.650
33	5662.62	-241.77	-1393.97	5.766	462	691	0.00148	0.650
34	3184.68	272.30	1676.64	6.157	242	691	0.00557	0.900
35	3180.53	257.98	1675.94	6.496	242	691	0.00558	0.900
36	3176.39	243.67	1675.24	6.875	241	691	0.00559	0.900

Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Bawah



Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities:								
No.	Pu kN	Mux kNm	fMnx kNm	fMn/Mu NA depth mm	Dt depth mm	eps_t	Phi	
1	4394.99	54.05	1550.70	28.689	356	691	0.00283	0.719
2	4362.86	5.13	1558.18	303.763	351	691	0.00290	0.725
3	4330.73	-43.79	-1565.57	35.750	347	691	0.00297	0.731
4	4054.49	60.93	1625.50	26.680	315	691	0.00358	0.782
5	4031.54	4.87	1630.21	334.547	313	691	0.00363	0.786
6	4008.59	-51.18	-1634.82	31.943	310	691	0.00368	0.790
7	5231.47	82.04	1417.82	17.282	437	691	0.00174	0.650
8	5203.93	6.33	1419.19	224.161	435	691	0.00176	0.650
9	5176.39	-69.38	-1420.54	20.476	434	691	0.00178	0.650
10	2762.38	97.21	1602.82	16.488	221	691	0.00639	0.900
11	2741.73	6.11	1599.09	261.542	220	691	0.00643	0.900
12	2721.07	31.83	1595.36	50.114	219	691	0.00647	0.900
13	2888.32	-27.71	-1625.32	58.645	227	691	0.00613	0.900
14	2867.67	0.48	1621.65	999.999	226	691	0.00617	0.900
15	2847.01	-88.14	-1617.98	18.357	225	691	0.00622	0.900
16	2684.09	241.75	1588.64	6.571	217	691	0.00655	0.900
17	2663.44	12.59	1584.88	125.927	216	691	0.00660	0.900
18	2642.78	170.76	1582.12	9.260	216	691	0.00664	0.900
19	2966.61	-172.26	-1639.10	9.516	231	691	0.00598	0.900
20	2946.96	5.99	1636.48	273.032	230	691	0.00602	0.900
21	2925.30	-227.05	-1631.85	7.187	229	691	0.00606	0.900
22	4619.37	131.11	1496.39	11.413	383	691	0.00241	0.684
23	4591.83	8.42	1505.26	178.488	380	691	0.00246	0.688
24	4564.29	2.55	1510.07	592.256	376	691	0.00251	0.692
25	4745.31	6.19	1464.13	236.670	400	691	0.00218	0.665
26	4717.77	2.79	1471.30	527.482	396	691	0.00223	0.669
27	4690.23	-117.42	-1478.41	12.590	393	691	0.00228	0.673
28	4541.08	275.65	1515.77	5.499	374	691	0.00255	0.696
29	4513.54	14.89	1522.47	102.222	370	691	0.00260	0.700
30	4486.00	141.46	1529.11	10.809	367	691	0.00265	0.704
31	4823.60	-138.35	-1443.36	10.432	411	691	0.00204	0.654

Output Diagram Interaksi P-M Kolom Desain Atas

Dari output diatas diketahui nilai M_{ncatas} dan $M_{ncbawah}$ adalah 1639,1 kNm, dan 1788,88 kNm. Dan $M_{nkolomltl}$ adalah 1682,28 kNm

$$\Sigma M_c = \emptyset M_{n \text{ atas}} + \emptyset M_{ndesain} = 1788,88 + 1682,28 = 3470 \text{ kNm} > 937,084 \text{ kN-m (memenuhi)}$$

$$\Sigma M_c = \emptyset M_{n \text{ atas}} + \emptyset M_{ndesain} = 1639,1 + 1682,28 = 332138 \text{ kNm} > 937,084 \text{ kN-m (memenuhi)}$$

4.5.2.4 Desain Tulangan Confinement

Total luas penampang sengkang tidak kurang dari salah satu yang terbesar antara :

$$Ash = 0,3 \left(\frac{s.bc \cdot fc'}{fyt} \right) \left(\frac{Ag}{Ach} - 1 \right) \text{ dan } Ash = \frac{0,09s.bc \cdot fc'}{fyt}$$

Coba tulangan berdiameter D12 untuk sengkang

$$Ag = 750 \times 750 = 562500 \text{ mm}^2$$

bc = lebar penampang inti beton (yang terkekang)

$$= bw - 2 \times (t + 0,5d) = 750 - 2 \times (40 + 0,5 \times 13) = 657 \text{ mm}$$

Ach = luas penampang inti beton, diukur dari serat terluar sengkang ke serat terluar sengkang di sisi lainnya.

$$= (b - 2.t) \times (b - 2.t) = (750 - 2.40) \times (750 - 2.40) = 448900 \text{ mm}^2$$

Sehingga,

$$\frac{Ash}{s} = 0,3 \left(\frac{bc \cdot fc}{f_{yt}} \right) \left(\frac{Ag-1}{Ach} \right) = 0,3 \left(\frac{657 \cdot 35}{400} \right) \left(\frac{562500}{448900} - 1 \right) = 2,567 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Dan

$$\frac{Ash}{s} = \frac{0,09 \cdot 657 \cdot 35}{400} = 5,06 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Jadi diambil nilai terbesar yaitu $5,06 \text{ mm}^2/\text{mm}$

• **Spasi maksimum adalah yang terkecil di antara :**

- $\frac{1}{4}$ dimensi penampang kolom terkecil = $750 \text{ mm}/4 = 187,5 \text{ mm}$
- 6 kali diameter tul. longitudinal = $6 \times 19 \text{ mm} = 114 \text{ mm}$
- s_0 menurut persamaan:

$$s_0 \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3}$$

$$\text{Dengan } h_x = \frac{2}{3} h_c = \frac{2}{3} \cdot 558 \text{ mm} = 372 \text{ mm}$$

$$s_0 \leq 100 + \frac{350 - h_x}{3} = 100 + \frac{350 - 372}{3} = 283,33 \text{ mm}$$

Namun s_x tidak boleh melebihi 150 mm, dan tidak perlu lebih kecil dari 100 mm.

Coba gunakan spasi 100 mm.

$$Ash \text{ perlu} = 5,06 \text{ mm}^2/\text{mm} \times 100 \text{ mm} = 506,25 \text{ mm}^2$$

Jadi digunakan sengkang 4 kaki baja D13 dengan

$$Ash = 4 \times 0,25 \times \pi (13 \text{ mm})^2 = 530,93 \text{ mm}^2 > 506,25 \text{ mm}^2$$

- SNI Pasal 21.6.4.1

Tulangan hoop tersebut diperlukan sepanjang l_o dari ujung-ujung kolom, l_o dipilih yang terbesar di antara :

- Tinggi elemen struktur, h , di join = 750 mm
- $1/6$ tinggi bersih kolom = $1/6 \times 4400 \text{ mm} = 733 \text{ mm}$
- 450 mm

Dengan demikian diambil yang paling besar = 750 mm

- SNI Pasal 21.6.4.5

Sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi l_o di masing-masing ujung kolom) diberi sengkang dengan spasi minimum 150 mm, atau $6 \times$ diameter tulangan longitudinal = $6 \times 19 \text{ mm} = 114 \text{ mm}$. Dipasang jarak 100 mm

4.5.2.5 Desain Tulangan Geser

V_e tidak perlu lebih besar dari V_{sway} yang dihitung berdasarkan M_{pr} balok

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_{pr-top} DF_{top} + M_{pr-bot} DF_{bot}}{L_u}$$

Dengan

DF= faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah kolom yang di desain

Karena kolom di lantai atas dan bawah mempunyai kekakuan yang sama, maka DF= 0,5

M_{pr} top dan bottom adalah penjumlahan M_{pr} untuk masing-masing balok di lantai atas dan lantai bawah di muka kolom interior (Lihat tabel 4.12)

$$\begin{aligned} V_{\text{sway}} &= \frac{(638155797,89 + 338035333,4) \text{ Nmm} \cdot 0,5 + (638155797,89 + 338035333,4) \text{ Nmm} \cdot 0,5}{4400} \\ &= \frac{971851131,29}{4400} \\ &= 220875,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Tetapi V_e tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor akibat kombinasi 1,2D+1L+1E hasil analisis yaitu

Jadi ambil $V_e = 118162,6 \text{ kN}$

V_c dapat diambil=0 jika V_e akibat gempa lebih besar dari $\frac{1}{2} V_u$ dan gaya aksial terfaktor pada kolom $P_u = 5307981 \text{ N}$ tidak melampaui $\frac{1}{10} A_g f'_c = 1968750 \text{ kN}$. Kenyataannya pada kolom, gaya aksial melampaui $\frac{1}{10} A_g f'_c$, jadi V_c boleh diperhitungkan

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left[1 + \frac{N_u}{14 A_g} \right] \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= 0,17 \cdot \left[1 + \frac{5307981 \text{ N}}{562500} \right] 1 \cdot \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 687,5 \\ &= 553535,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek apakah dibutuhkan tulangan geser :

$$\frac{V_u}{\phi} > \frac{1}{2} V_c$$

$\frac{V_u}{\phi} = 236624 \text{ N} > \frac{1}{2} V_c = 276767,6 \text{ kN}$, Jadi perlu tulangan geser minimum

Tulangan geser minimum:

$$A_{v_{\min}} = \frac{1}{3} \frac{b \cdot s}{f_y}$$

Karena sebelumnya telah dipasang tulangan confinement sengkang 4 kaki D 13 dengan spasi 100 mm berarti :

$$A_{v_{\min}} = \frac{1}{3} \frac{750 \cdot 100}{400} = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot s / f_y \\ &= 68,77 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sementara itu , A_{sh} untuk 4 kaki D13 = $530 \text{ mm}^2 > A_{v_{\min}}$ --→ OK.

$A_{sh} > A_{v_{\min}} \rightarrow V_s < V_{s-dsn}$. Persyaratan kuat geser terpenuhi

4.5.3 Hubungan Balok dan Kolom

4.5.3.1 Dimensi Join

a. SNI Pasal 21.7.4.1

Luas efektif hubungan balok-kolom, dinyatakan dalam A_j , adalah:

$$A_j = 750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} = 419500 \text{ mm}^2$$

b. Panjang join yang diukur paralel terhadap tulangan lentur balok yang menyebabkan geser di join sedikitnya 20 kali d_b longitudinal terbesar

Panjang join = $20 \times 19 \text{ mm} = 380 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$ (OK!)

4.5.3.2 Penulangan Transversal untuk Sengkang

- a. Harus ada tulangan sengkang/ confinement dalam join
- b. Untuk join interior, jumlah tulangan sengkang yang dibutuhkan setidaknya setengah tulangan sengkang yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom,

$$\text{atau } 0,5 A_{sh}/s = 0,5 \cdot 5,06 \text{ mm}^2/\text{mm} = 2,531 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

- c. Spasi sengkang diizinkan diperbesar hingga 150 mm

$$\text{Area tulangan sengkang yang dibutuhkan} = 150 \text{ mm} \times 2,531 \text{ mm}^2/\text{mm} = 379,687 \text{ mm}^2$$

Di coba menggunakan 3 hoop sengkang 3 kaki D 13 , yang pertama dipasang pada jarak 50 mm dibawah tulngan atas

$$A_s = 3 \cdot 0,25 \cdot \pi (12 \text{ mm})^2 = 389,19 \text{ mm}^2 > 379,687 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

4.5.3.3 Perhitungan geser di Join dan Cek Kuat Geser

Tinjau free-body diagram sebagai berikut :

Balok yang memasuki join memiliki probable moment = - 520574196,3 Nmm dan 260287098,18 Nmm. Pada join, kekakuan kolom atas dan kekakuan kolom bawah sama, sehingga $DF = 0,5$ untuk setiap kolom, sehingga:

$$\begin{aligned} M_e &= 0,5 \times (520574196,3 + 260287098,18) \text{ Nmm} \\ &= 390430647 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Geser pada kolom atas

$$V_{\text{sway}} = (390430647 + 390430647) \text{ kNm} / l_u$$

$$l_u = 4400 \text{ mm}$$

$$V_{\text{sway}} = (390430647 + 390430647) / 4400 = 177468,48 \text{ N}$$

Dibagian lapis atas balok, baja tulangan yang dipakai adalah 8 D19 dengan $A_s = 2552,79 \text{ mm}^2$

Gaya **tarik** yang bekerja pada baja tulangan balok

$$T' = 1,25 A_s f_y$$

$$= 1,25 \cdot 2552,79 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}$$

$$= 1134571,4 \text{ N}$$

Gaya **tekan** yang bekerja pada balok

$$C = T = 1134571,4 \text{ N}$$

$$V_u = V_j = V_{\text{sway}} - C - T = 177468,48 \text{ N} - 1134571,4 \text{ N} - 1134571,4 \text{ N} = 2091674 \text{ N (kekiri)}$$

Kuat geser nominal join yang dikekang di keempat sisinya adalah:

$$V_n = 1,7 \sqrt{f_c} A_j$$

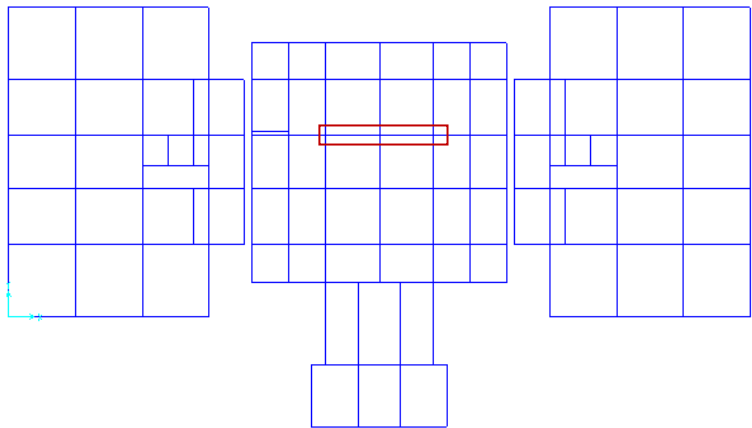
$$\Phi V_n = 0,75 \cdot 1,7 \sqrt{35} \cdot 562500$$

$$= 4244938,5 \text{ N} > V_u = 2091674 \text{ N}$$

OK, Kuat geser join memenuhi

4.5.5 Perhitungan Penulangan Sloof (40/80)

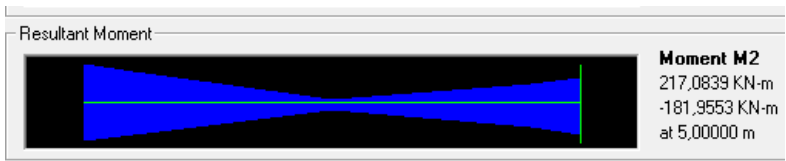
4.5.1.2 Perhitungan Penulangan Lentur



$Pu_{maks} = 2131927,3 \text{ N}$

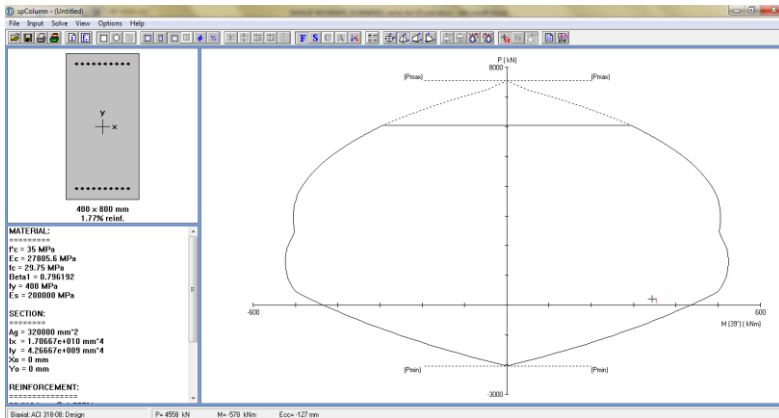
Sehingga gaya tarik P_n yang terjadi pada sloof adalah :

$10 \% Pu_{maks} = 10 \% \times 2131927,3 \text{ N} = 213192,7 \text{ N}$



$Mu_{maks} = 217 \text{ kNm}$

Direnakan tulangan tarik 10 D 19 dan tulangan tekan 10 D 19. Analisa kemampuan penampang menggunakan program SP COL



Berdasarkan hasil output SP COL diketahui bahwa dengan tulangan tarik 10 D19 dan tulangan tekan 10D19 penampang sloof dapat menahan gaya aksial dan momen yang terjadi.

As pasang tarik = As pasang tekan

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} \text{ D lentur} \\ &= 10 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 5680 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Pakai

Syarat :

$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun 1 lapis

$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow$ susun lebih dari 1 lapis

Direnakan di pakai tulangan tarik 2 lapis 10 D19 dan tulangan tekan 2 lapis 10 D19

- Kontrol tulangan tarik

$$S_{max} = \frac{b - (2 \times t \text{ selimut}) - (2 \times D \text{ geser}) - (n \times \emptyset b)}{n - 1}$$

$$S_{max} = \frac{400 - (2 \times 50) - (2 \times 12) - (5 \times 19)}{5 - 1}$$

$$= 42,5 \text{ mm}$$

$S_{maks} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$

$42,5 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}$ (memenuhi)

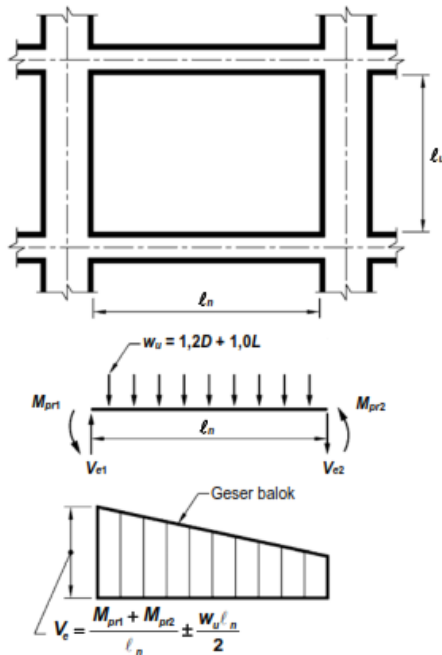
Jadi dipasang tulangan lentur sloof 10 D 19

4.5.3.3 Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	: BI (40/60)
Dimensi balok (b balok)	: 400 mm
Dimensi balok (h balok)	: 600 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 35 MPa
Kuat leleh tul. geser (f_{yv})	: 400 MPa
Diameter tul. geser (\emptyset geser)	: 10 mm
β_1	: 0,85
Faktor reduksi geser (ϕ)	: 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (40/60) As 2(E-f), diperoleh :

Momen Tulangan Terpasang



Gambar 4. 34 Perencanaan Geser Untuk balok SRPMK

Hitung Probable Moment Capacities (Mpr)

Probable Moment Capacities (Mpr)_diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

Tumpuan kanan

As pakai tulangan tarik 10 D19 = 2836,43 mm²

As pakai tulangan tekan 5 D19 = 1418,21 mm²

Tumpuan kiri

As pakai tulangan tarik 10 D19 = 2836,43 mm²

As pakai tulangan tekan 5 D19 = 1418,21 mm²

Perhitungan Mpr untuk tulangan tumpuan kiri (atas)

$$a = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,25 \cdot 2836,43 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} \\
 &= 119,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

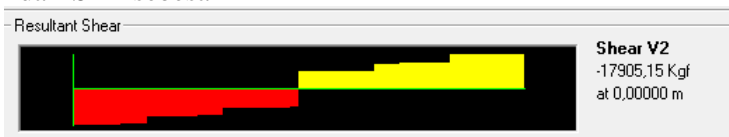
$$\begin{aligned}
 M_{pr1} &= 1,25 \cdot A_s \cdot F_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1,25 \cdot 2836,43 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(506,5 - \frac{119,8}{2}\right) \\
 &= 633815797,89 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan M_{pr} selanjutnya ditampilkan dalam tabel 4.12

Tabel 4. 18 M_{pr} balok dari luasan tulangan tumpuan kiri dan kanan

	LOKASI		TUL.	As	a	M_{pr}
Tumpuan	KIRI	ATAS	10	2836.43	119.18	633815797.89
		BAWAH	5	1418.21	119.18	316907898.95
	KANAN	ATAS	10	2836.43	119.18	633815797.89
		BAWAH	5	1418.21	119.18	316907898.95

Reaksi geser balok akibat kombinasi 1,2 D+1L didapatkan dari SAP sebesar



Gambar 4. 35 Geser balok akibat kombinasi 1,2 D+ 1 L

$$V_g = 179050 \text{ N}$$

- Struktur bergoyang ke kanan

$$\begin{aligned}
 V_{sway-ka} &= \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{l_n} \\
 &= \frac{633815797,89 \text{ Nmm} + 316907898,95 \text{ Nmm}}{7350 \text{ mm}} \\
 &= 117373,3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok

$$= 179050 \text{ N} - 117373,3 \text{ N} = 61676,7 \text{ N}$$

Arah geser ke bawah

Total reaksi geser di ujung kanan balok

$$= 179050 \text{ N} + 117373,3 \text{ N} = 296423,3 \text{ N}$$

Arah geser ke atas

- Struktur bergoyang ke kiri

$$V_{\text{sway}-ka} = \frac{M_{pr-1} + M_{pr-2}}{ln} = \frac{633815797,89 \text{ Nmm} + 316907898,95 \text{ Nmm}}{7350 \text{ mm}}$$

$$= 117373,3 \text{ N}$$

Total reaksi geser di ujung kiri balok

$$= 179050 \text{ N} - 117373,3 \text{ N} = 61676,7 \text{ N}$$

Arah geser ke bawah

Total reaksi geser di ujung kanan balok

$$= 179050 \text{ N} + 117373,3 \text{ N} = 296423,3 \text{ N}$$

Arah geser ke atas

d. Senggang untuk Gaya Geser

V_c harus diambil=0 pada perencanaan pada daerah sendi plastis apabila :

1. Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi $\frac{1}{2}$ atau lebih kuat geser perlu maksimum V_u di sepanjang bentang,

Arah gerakan gempa	V_{sway}	Left		Right	
		V_u	$\frac{1}{2}V_u$	V_u	$\frac{1}{2}V_u$
kanan	117373,3	61676,7	30838	296423,3	27391
kiri	117373,3	296423,3	79311	61676,7	79311

Jadi diperoleh bahwa V_{sway} melebihi $\frac{1}{2} V_u$

2. Gaya tekan aksial terfaktor termasuk akibat gempa kurang dari $A_g f_c' / 20$

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{20} = 360000 \text{ N}$$

gaya aksial tekan akibat gempa = 296423,3 N < 360000 N

Karena memenuhi kedua kondisi diatas maka perencanaan geser pada balok tidak memperhitungkan V_c atau $V_c=0$

- **Muka kolom interior kiri**

$$V_u \max = 296423,3 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{296423,3}{0,75} - 0 = 395231 \text{ N}$$

Nilai V_s maksimum :

$$V_{s_{\max}} = \frac{2}{3} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \sqrt{35} \cdot 400 \cdot 506,5 = 395537,26 \text{ N}$$

$V_s < V_{s_{\max}}$ OK, syarat V_s maksimum terpenuhi

Dicoba diameter tulangan sengkang $\emptyset 12$ dengan 2 kaki ($A_v = 196,76 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{196,76 \cdot 400 \cdot 509}{395537,26} = 121,04 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } s = 100 \text{ mm}$$

Nilai V_s jika dipakai $s = 100 \text{ mm}$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{196,76 \cdot 400 \cdot 506,5}{100} = 478368 \text{ N}$$

Jadi, digunakan sengkang **2 kaki $\emptyset 12 - 100 \text{ mm}$**

- **Muka kolom interior kanan**

$$V_u \max = 296423,3 \text{ N}$$

Maka akan sama seperti muka kolom interior kiri, diperlukan 2 kaki **$\emptyset 12$** untuk sengkang dengan spasi **100 mm**.

- **Ujung zona sendi plastis ke tengah bentang**

$$V_u \max = (\text{terletak } 2h \text{ dari muka kolom}) = 285289,63,5 \text{ N} \cdot (4,05\text{m} - 1,2\text{m}) / 4,05\text{m} = 199632,02 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{199632,02}{0,75} - 0 = 266176 \text{ N}$$

Dicoba diameter tulangan sengkang $\emptyset 12$ dengan 2 kaki ($A_v = 196,29 \text{ mm}^2$)

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{196,29 \cdot 400 \cdot 506,5}{266176} = 208 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai } s = 200 \text{ mm}$$

Nilai V_s jika dipakai $s = 200 \text{ mm}$

Jadi, digunakan sengkang **2 kaki D12 – 200 mm**

SNI pasal 21.5.3.1 mensyaratkan bahwa sengkang harus dipasang sepanjang jarak $2h$ dari muka kolom terdekat
 $2h = 2 \cdot 600 = 1200 \text{ mm}$

SNI pasal 21.5.3.2 mensyaratkan bahwa sengkang pertama dipasang pada jarak 50 mm dari muka kolom terdekat dan yang berikutnya dipasang dengan spasi terkecil di antara:

- $d/4 = 505,6/4 = 132,1 \text{ mm}$
- $6 \times \text{diameter tulangan longitudinal terkecil} = 6 \times 19 \text{ mm} = 118 \text{ mm}$
- 150 mm
- Tapi tidak perlu kurang dari 100 mm . Dengan demikian tulangan sengkang di daerah sendi plastis yaitu disepanjang $2h$ dari muka kolom menggunakan sengkang tertutup **2 kaki Ø 12-100**.

4.5.3.4 Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulang harus disalurkan pada masing masing sisi penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12**.

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan *SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3.* dan faktor modifikasi dari *pasal 12.2.4.* dan *pasal 12.2.5.*

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

- Perhitungan Panjang Penyaluran :

$$ld = \left[\frac{fy}{1,1\lambda \times \sqrt{fc'}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\frac{c_b + K_{tr}}{db}} \right] db$$

Dimana,

fc' = kuat tekan beton (35 Mpa)

fy = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

Ψ_t = faktor lokasi penulangan (1,3)

Ψ_e = faktor pelapis (1,5)

Ψ_s = faktor ukuran tulangan (1,0)

λ = faktor beton agregat ringan (1,0)

db = diameter nominal tulangan (19)

C_b = Yang lebih kecil :

- a) Jarak pusat tulangan ke permukaan beton terdekat

C_b = decking + sengkang + ($\frac{1}{2} \times D$ lentur)

C_b = 50 mm + 10 mm + ($\frac{1}{2} \times 19$ mm)

C_b = 61 mm

- b) Setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan

C_b = S_{max} + ($\frac{1}{2} \times D$ lentur) + ($\frac{1}{2} \times D$ lentur)

C_b = 25 mm + ($\frac{1}{2} \times 19$ mm) + ($\frac{1}{2} \times 19$ mm)

C_b = 47 mm

K_{tr} = Indek tulangan tranfersal (0)

$$ld = \left[\frac{400}{1,1 \times 1 \times \sqrt{35}} \frac{1,3 \times 1,5 \times 1,0}{\frac{47+0}{19}} \right] \times 19$$

$$ld = 803 \text{ mm}$$

Syarat :

$$ld > 300 \text{ mm}$$

$$803 \text{ mm} > 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam ld diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan. [SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.5]

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{As \text{ perlu}}{As \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } ld = \left[\frac{1644,03}{1901,43} \right] \times 803 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } ld = 653 \text{ mm}$$

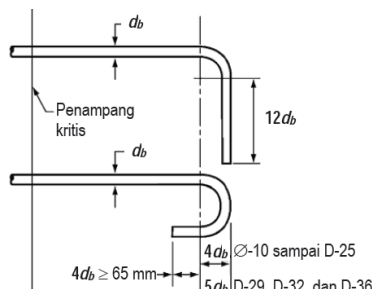
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 655 mm

Penyaluran Tulangan Berkait Dalam Kondisi Tarik Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dalam kondisi tarik yang diakhiri kait standart ldh ditentukan dari SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2. dan faktor modifikasi dari pasal 12.5.3. Tetapi tidak boleh kurang dari $8d_b$ dan 150 mm

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1]

Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart

- Perhitungan Penyaluran Kait:



Gambar 4. 4 Detail batang tulangan berkait untuk penyaluran kait standart

Untuk batang tulangan ulir $ldh = \frac{0,24 \times \Psi_e \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \times d_b$

Dimana,

fc' = kuat tekan beton (35 Mpa)

fy = kuat leleh tulangan (400 Mpa)

Ψ_e = faktor pelapis (1,2)

λ = faktor beton agregat ringan (1,0)

d_b = diameter nominal tulangan (19)

$$ldh = \frac{0,24 \times 1,2 \times 400}{1,0 \times \sqrt{35}} \times 19$$

$$ldh = 338 \text{ mm}$$

- Perhitungan Reduksi Penyaluran Kait:

Reduksi dalam ldh harus diizinkan untuk dikalikan faktor faktor sesuai dengan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3.***

Untuk kait 90 derajat dikalikan 0,8

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.3 (b)]

$$ldh_{reduksi} = ldh \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 338 \times 0,8$$

$$ldh_{reduksi} = 271 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat :

$$8 d_b = 152 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

$$150 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 400 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka panjang penyaluran kait tulangan dalam kondisi tarik 300 mm

Panjang kait

$$12d_b = 12(19) = 198 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

Penyaluran Tulangan Dalam Kondisi Tekan

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan ldc dihitung berdasarkan ***SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2.*** dan faktor modifikasi dari ***pasal 12.3.3.*** Tetapi tidak boleh kurang dari 200 mm.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1]

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Untuk batang tulangan ulir l_{dc} harus diambil sebesar yang terbesar dari :

$$c. \quad l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 400}{1,0 \times \sqrt{35}} \right) \times 19$$

$$l_{dc} = 308 \text{ mm}$$

$$d. \quad l_{dc} = (0,043 f_y) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times 400) \times 19$$

$$l_{dc} = 327 \text{ mm}$$

Maka l_{dc} dipilih 327 mm

- Perhitungan Reduksi Panjang Penyaluran :

Reduksi dalam l_{dc} diizinkan bila tulangan pada komponen struktur lentur melebihi yang diperlukan.

[SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.3]

$$\text{Reduksi } l_{dc} = \left[\frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \right]$$

$$\text{Reduksi } l_{dc} = \left[\frac{570,43}{760,57} \right] \times 327 \text{ mm}$$

$$\text{Reduksi } l_{dc} = 231 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

Panjang kait

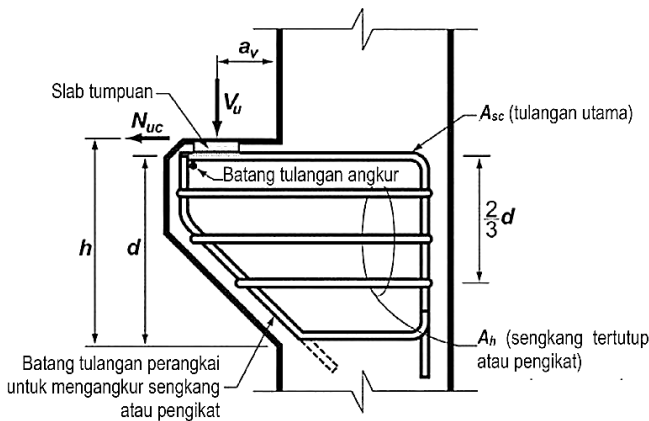
$$4 d_b + 4 d_b = 4(19) + 4(19) = 176 \text{ mm}$$

4.5.5 Perhitungan Sambungan

4.5.4.1 Sambungan Kolom- Balok Induk

4.5.5.1.1 Perencanaan Konsol

Pada perencanaan sambungan antara balok induk dan kolom dipergunakan sambungan dengan menggunakan konsol pendek. Balok induk diletakan pada konsol yang berada pada kolom yang kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan. Perencanaan konsol pada kolom tersebut mengikuti persyaratan yang diatur dalam SNI-03-2847-2013 Pasal 11.8 mengenai konsol pendek. Bentuk konsol pendek yang dipakai dapat dilihat pada gambar 4.37 berikut ini:



Ketentuan SNI 03 – 2847 – 2013 pasal 11.8 tentang perencanaan konsol pendek yang diatur sebagai berikut:

1. Perencanaan konsol pendek dengan rasio bentang geser terhadap tinggi a/d tidak lebih besar dari satu, dan dikenai gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc} , tidak lebih besar daripada V_u . Tinggi efektif d harus ditentukan di muka tumpuan
2. Tinggi di tepi luar luas tumpuan tidak boleh kurang dari $0,5d$

3. Penampang di muka tumpuan harus didesain untuk menahan secara bersamaan V_u suatu momen terfaktor $V_u + N_{uc}(h-d)$, dan gaya tarik horizontal terfaktor, N_{uc}
 - a) Dalam semua perhitungan desain yang sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8, ϕ harus diambil sama dengan 0,75
 - b) Untuk beton ringan atau ringan pasir, V_n tidak boleh diambil lebih besar dari yang lebih kecil dari $(0,2 - 0,07 \frac{a}{d})f_c \cdot b_w$ dan $(5,5 - 1,9 \frac{a}{d}) b_w \cdot d$
 - c) Tulangan A_f untuk menahan momen terfaktor $(V_u \cdot a_v + N_{uc}(h-d))$ harus dihitung menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.2 dan pasal
 - d) Tulangan A_n untuk menahan gaya Tarik terfaktor N_{uc} harus ditentukan dari $\phi A_n \cdot f_y \geq N_{uc}$ Gaya tarik terfaktor, N_{uc} tidak boleh diambil kurang dari $0,2V_u$ kecuali bila ketentuan dibuat untuk menghindari gaya Tarik. N_{uc} harus dianggap sebagai beban hidup bahkan bilamana tarik yang dihasilkan dari kekangan rangkai, susut, atau perubahan suhu.
 - e) Luas tulangan Tarik utama A_{sc} tidak boleh kurang dari yang lebih besar dari $(A_f + A_n)$ dan $(\frac{2A_v f}{3} + A_n)$
4. Luas total A_h , sengkang tertutup atau pengikat parallel terhadap tulangan Tarik utama tidak boleh kurang dari $0,5(A_{sc} - A_n)$, Distribusikan A_h secara merata dalam $(2/3)d$ bersebelahan dengan tulangan tarik utama
5. $\frac{A_{sc}}{bd}$ tidak boleh kurang dari $0,04 \frac{f_c}{f_y}$
6. Pada muka depan konsol pendek, tulangan tarik utama A_s harus diangkur dengan salah satu dari berikut:
 - a) Dengan las struktur pada batang tulangan transversal dengan sedikit berukuran sama;

- las didesain untuk mengembangkan f_y tulangan Tarik utama
- b) Dengan pembengkokan tulangan tarik utama menjadi bentuk tertutup horizontal atau
 - c) Dengan suatu cara pengankuran baik lainnya
7. Luas tumpuan pada konsol pendek tidak boleh menonjol melampaui bagian lurus batang tulangan tarik utama A_s , ataupun menonjol melampaui muka dalam dari batang tulangan angkur transversal (bila batang tulangan tersebut disediakan)

Penulangan Konsol Pada Kolom

a. Data Perencanaan

V_u output analisa struktur = 296423 N

Dimensi Balok = 40/60

Dimensi konsol

$b_w = 400 \text{ mm}$

$h = 400 \text{ mm}$

$t_{\text{pelat tump}} = 15 \text{ mm}$

$D_{\text{lentur}} = 19 \text{ mm}$

$D_{\text{geser}} = 12 \text{ mm}$

$f_c = 35 \text{ Mpa}$

$f_y = 400 \text{ Mpa}$

$a_v = 150 \text{ mm}$

$d = h - t_{\text{pelat tump}} - 0,5 \cdot D_{\text{lentur}}$
 $= 400 \text{ mm} - 15 \text{ mm} - 0,5 \cdot 19 \text{ mm}$
 $= 375,5 \text{ mm}$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

- $a_v/d = 150 \text{ mm} / 375,5 \text{ mm} = 0,399 < 1 \dots \text{memenuhi}$

$$\triangleright N_{uc} \geq 0,2 V_u$$

$$N_{uc} = 0,2 \times 296423 \text{ N} = 59284,6 \text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{296423 \text{ N}}{0,75} = 395 \text{ 230 N}$$

b. Menentukan luas tulangan geser friksi (A_{vf})

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser $V_n = 395 \text{ 230 N}$ tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$\begin{aligned} \text{a) } 0,2 f_c' \times b_w \times d &= 0,2 \times 35 \text{ Mpa} \times 400 \text{ mm} \times 375,5 \text{ mm} \\ &= 1051400 \text{ N} \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } (3,3 + 0,08 f_c) \cdot b_w \cdot d &= (3,3 + 0,08 \cdot 35 \text{ Mpa}) \cdot 400 \cdot 375,5 \text{ mm} \\ &= 916190 \text{ N} \dots \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } 11 \cdot b_w \cdot d &= 11 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 375,5 \text{ mm} \\ &= 1651900 \text{ N} \dots \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} = \frac{395 \text{ 230 N}}{400 \text{ Mpa} \cdot 1,4} = 705,769 \text{ mm}^2$$

$\mu = 1,4$ (untuk beton yang dicor monolit)

c. Luas Tulangan lentur (A_f)

Sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan perhitungan momen sebagai berikut

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \cdot a_v + N_{uc} \cdot (h - d) \\ &= 296423 \text{ N} \cdot 150 \text{ mm} + 59284,6 \text{ N} \cdot (400 - 375,5) \\ &= 45915923 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,45$$

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{44191364 \text{ Nmm}}{400 \text{ mm} \cdot (375,5 \text{ mm})^2} = 0,814$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,45} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.13,45.0,814}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$= 0,002$$

$\rho = 0,00198 < \rho_{\min} = 0,0035$, maka dipakai $\rho = 0,0035$

$$A_{f1} = \frac{Mu}{0,85 \cdot f_y \cdot \phi \cdot d}$$

$$= \frac{45915923 \text{ Nmm}}{0,85 \cdot 400 \cdot 0,75 \cdot 375,5}$$

$$= 479,527 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,00035 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 375,5 \text{ mm}$$

$$= 525,7 \text{ mm}^2$$

Jadi dipakai $A_f = 525,7 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok untuk menahan Nuc

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y} = 197,615 \text{ mm}^2$$

d. Perhitungan Tulangan Tarik Utama

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$A_{sc1} = A_f + A_n$$

$$= 525,7 \text{ mm}^2 + 197,615 \text{ mm}^2$$

$$= 723,315 \text{ mm}^2$$

$$A_{sc2} = \frac{2 \cdot A_v \cdot f}{3} + A_n$$

$$= \frac{2 \cdot 705,769 \text{ mm}^2}{3} + 197,615 \text{ mm}^2$$

$$= 668,128 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$A_{scmin} = 0,04 \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,04 \cdot \frac{35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 375,5 \text{ mm}$$

$$= 525,7 \text{ mm}^2$$

Maka $A_{sc} = 723,315 \text{ mm}^2$

Direncanakan menggunakan tulangan diameter 19 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 283,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{sc}}{A_s} = \frac{715,893 \text{ mm}^2}{283,52 \text{ mm}^2} = 2,5 \approx 3$$

Maka dipakai tulangan utama 3D19 ($A_s = 850,586 \text{ mm}^2$)

e. Perhitungan Tulangan Geser (A_h)

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned} A_h &= 0,5(A_{sc}-A_n) \\ &= 0,5(850,586 \text{ mm}^2 - 197,615 \text{ mm}^2) \\ &= 326,485 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan sengkang 3 Ø12 dengan $A_s = 837,758 \text{ mm}^2$ dan dipasang setinggi $2/3 d = 250,33 \text{ mm}$

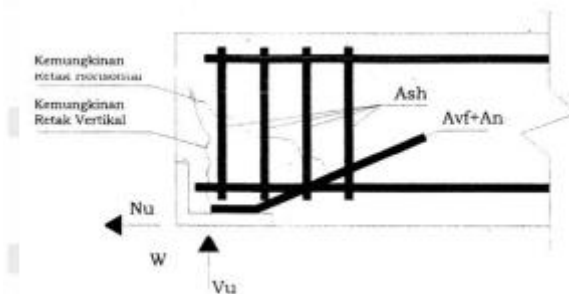
f. Luas Pelat Landasan

$$V_u = \phi \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot A_l$$

$$A_l = \frac{285269,83 \text{ N}}{0,85 \cdot 0,75 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 12785,202 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $200 \times 300 \text{ mm} = 60000 \text{ mm}^2$ (tebal 15mm)

g. Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 4. 36 Rencana tulangan pada balok Induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada tugas akhir ini didasarkan pada buku PCI DESIGN HANDBOOK (7th Edition) section 8.3.3 yaitu tentang concrete brackets or cobel. Penulangan end bearing berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan sudut retak vertikal $\Theta = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal

$$A_t = A_{vf} + A_n = \frac{Vu}{\phi \cdot fy \cdot \mu} + \frac{Nu}{\phi \cdot fy}$$

3. Sudut penanaman adalah 15° seperti yang disarankan pada referensi
4. Nilai $\mu = 1,4$ $\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$
5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(Avf + An) \cdot fy}{\mu_e \cdot fys}$$

$$\text{Dimana } \mu_e = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot Acr \cdot \mu}{(Avf + An) \cdot fy}$$

$$Acr = l_d \cdot b$$

b = lebar balok

l_d = pjg penyaluran

fys = mutu baja sengkang

6. Nilai masimum V_n untuk beton cor monolit 1000. λ^2 . A_{cr} , $\mu = 1,4 \cdot \lambda$, $\mu_e \max = 3,4$

Perhitungan Tulangan horizontal (A_t)

$$\begin{aligned} A_t &= A_{vf} + A_n \\ &= 679,261 \text{ mm}^2 + 190,193 \text{ mm}^2 \\ &= 869,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai 4D 19 dengan $A_s = 1134 \text{ mm}^2$

$$\text{Panjang } l_d = \left(\frac{400 \text{ Mpa} \cdot 1,3 \cdot 1}{2,1 \cdot 1 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) = 795,25 \text{ mm} = 31,3 \text{ in}$$

Perhitungan sengkang A_{sh}

$$A_{sh} = \frac{(Avf + An) \cdot fy}{\mu_e \cdot fys}$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 \mu_e &= \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y} \\
 &= \frac{1000 \cdot 1.493,055 \cdot 1,4}{1,437 \cdot 58065} \\
 &= 8,82 > 3,4, \text{ maka dipakai } \mu_e = 3,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{vf} + A_n &= 679,261 \text{ mm}^2 + 190,193 \text{ mm}^2 \\
 &= 869,45 \text{ mm}^2 = 1,347 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{cr} &= l_d \cdot b \\
 &= 31,3 \text{ in} \cdot 15,74 \text{ in} = 493,055 \text{ in}^2 \\
 b &= 15,74 \text{ in} \\
 \lambda &= 1 \\
 \mu &= 1,4 \\
 l_d &= 31,3 \text{ in} \\
 f_{ys} &= 400 \text{ Mpa} = 58065 \text{ lb/in}^2
 \end{aligned}$$

Jadi :

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}} \\
 &= \frac{1,347 \cdot 58065}{3,4 \cdot 58065} \\
 &= 0,66 \text{ in}^2 \\
 &= 426,203 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan 4 D 12 dengan $A_s = 452,389 \text{ mm}^2$

4.5.4.1.2 Persyaratan Sambungan Balok Kolom SRPMK

Berdasarkan pasal 21.8.2 SNI 2847-2013 rangka momen khusus dengan sambungan daktail yang dibangun menggunakan beton pracetak harus memenuhi (a) dan (b) dan semua persyaratan untuk rangka momen khusus yang dibangun dengan beton cor ditempat:

- a) V_n untuk sambungan yang dihitung menurut 11.6.4 tidak boleh kurang dari $2V_e$, dimana V_e dihitung menurut 21.5.4.1 atau 21.6.5.1

V_e diperoleh dari V sway yg dihitung berdasarkan M_{pr} balok

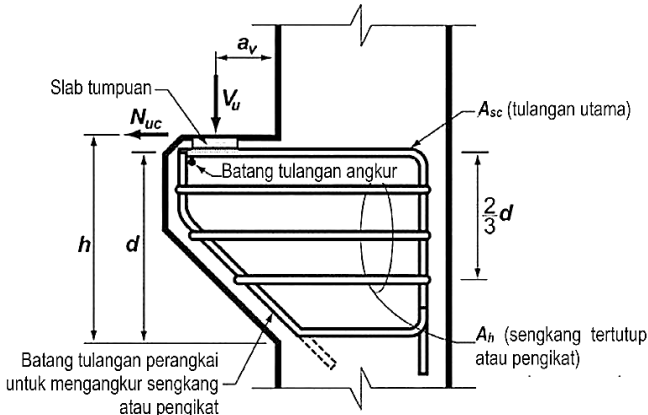
$$V_e = 117373 \text{ N}$$

$$2V_e = 234746$$

V_n sambungan = 380386, $N > 234746$ memenuhi

- b) Sambungan mekanis tulangan beton harus ditempatkan tidak lebih dari $h/2$ dari muka joint dan harus memenuhi persyaratan dari 21.1.6

4.5.5.2 Sambungan Balok Induk- Balok Anak



$$V_u = 106915,84 \text{ N}$$

Penulangan Konsol Pada Balok Induk

a. Data Perencanaan

V_u output analisa struktur = 106915,84 N

Dimensi Balok = 30/50

Dimensi konsol

$$b_w = 300 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$t_{\text{pelat tump}} = 15 \text{ mm}$$

$$D_{\text{lentur}} = 19 \text{ mm}$$

$$D_{\text{geser}} = 12 \text{ mm}$$

$$f_c = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$a_v = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - t_{\text{pelat tump}} - 0,5 \cdot D_{\text{lentur}} \\ &= 200 \text{ mm} - 15 \text{ mm} - 0,5 \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 175,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ketentuan yang digunakan dalam perencanaan konsol pendek sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8. Untuk dapat

menggunakan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8, maka geometri konsol pendek serta gaya yang terjadi pada konsol pendek tersebut harus sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.1. Syarat tersebut adalah sebagai berikut:

$$\triangleright a_v/d = 100\text{mm}/715,5\text{ mm} = 0,14 < 1 \dots \text{memenuhi}$$

$$\triangleright N_{uc} \geq 0,2 V_u$$

$$N_{uc} = 0,2 \times 106915,84\text{ N} = 21383\text{ N}$$

Sesuai SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.1, syarat nilai kuat geser V_n untuk beton normal adalah

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{106915,84\text{ N}}{0,75} = 142553\text{ N}$$

b. Menentukan luas tulangan geser friksi (A_{vf})

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 11.8.3.2 (a), untuk beton normal, kuat geser $V_n = 380386,2\text{ N}$ tidak boleh diambil lebih besar

daripada:

$$\begin{aligned} \text{a) } 0,2 f_c' \times b_w \times d &= 0,2 \times 35\text{Mpa} \times 400\text{ mm} \times 175,5\text{mm} \\ &= 368550\text{ N} \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } (3,3 + 0,08 f_c) \cdot b_w \cdot d &= (3,3 + 0,08 \cdot 35\text{ Mpa}) \cdot 400 \cdot 175,5\text{mm} \\ &= 321165\text{ N} \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } 11 \cdot b_w \cdot d &= 11 \cdot 400\text{mm} \cdot 175,5\text{mm} \\ &= 579150\text{ N} \dots \text{memenuhi} \end{aligned}$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu} = \frac{142553\text{ N}}{400\text{ Mpa} \cdot 1,4} = 254,5595\text{ mm}^2$$

$\mu = 1,4$ (untuk beton yang dicor monolit)

c. Luas Tulangan lentur (A_f)

Sesuai dengan SNI 03-2847 pasal 11.8.3.4, akan digunakan perhitungan momen sebagai berikut

$$\begin{aligned} M_u &= V_u \cdot a_v + N_{uc} \cdot (h - d) \\ &= 106915,84\text{ N} \cdot 100\text{ mm} + 21383\text{ N} \cdot (200 - 175,5) \\ &= 11215384\text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400\text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$m = \frac{f_y}{0,85.f_c} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85.35 \text{ Mpa}} = 29,199$$

$$R_n = \frac{Mu}{b.d^2} = \frac{11215384 \text{ Nmm}}{400\text{mm} \cdot (375,5\text{mm})^2} = 1.21$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{29,199} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.29,199. 1.21}{400 \text{ Mpa}}} \right) \\ &= 0,00198\end{aligned}$$

$\rho = 0,00198 < \rho_{\min} = 0,0035$, maka dipakai $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}A_{f1} &= \frac{Mu}{0,85.f_y.\phi.d} \\ &= \frac{11215384 \text{ Nmm}}{0,85.400.0,75.175,5} \\ &= 250,609 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{f2} &= \rho_{\min} \cdot b.d \\ &= 0,00035.400 \text{ mm} \cdot 175,5\text{mm} \\ &= 184,3 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jadi dipakai $A_f = 250,609 \text{ mm}^2$

Tulangan pokok untuk menahan Nuc

$$A_n = \frac{N_{uc}}{\phi.f_y} = 71,276 \text{ mm}^2$$

d. Perhitungan Tulangan Tarik Utama

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.5

$$\begin{aligned}A_{sc1} &= A_f + A_n \\ &= 250,609 \text{ mm}^2 + 71,276 \text{ mm}^2 \\ &= 255,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{sc2} &= \frac{2 \cdot A_v f}{3} + A_n \\ &= \frac{2 \cdot 254,5595}{3} + 71,276 \text{ mm}^2 \\ &= 240,983 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.5

$$A_{scmin} = 0,04 \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,04 \cdot \frac{35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 175,5 \text{ mm}$$

$$= 184,3 \text{ mm}^2$$

Maka $A_{sc} = 255,6 \text{ mm}^2$

Direncanakan menggunakan tulangan diameter 19 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = 283,52 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan } n = \frac{A_{sc}}{A_s} = \frac{255,52 \text{ mm}^2}{283,52 \text{ mm}^2} = 1 \approx 2$$

Maka dipakai tulangan utama 2D19 ($A_s = 567,057 \text{ mm}^2$)

e. Perhitungan Tulangan Geser (A_h)

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 11.8.3.4 luas total sengkang tertutup tidak boleh kurang dari:

$$A_h = 0,5(A_{sc} - A_n)$$

$$= 0,5 (567,057 \text{ mm}^2 - 71,276 \text{ mm}^2)$$

$$= 247,89 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan sengkang 3 Ø12 dengan $A_s = 339,292 \text{ mm}^2$ dan dipasang setinggi $\frac{2}{3} d = 87,75 \text{ mm}$

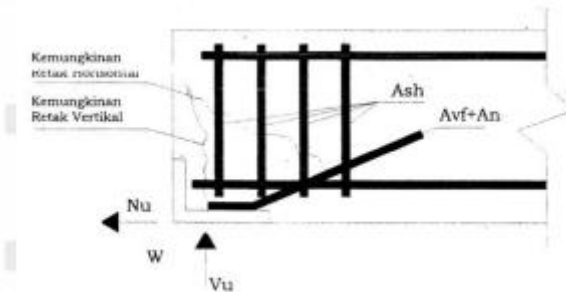
f. Luas Pelat Landasan

$$V_u = \emptyset \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot A_l$$

$$A_l = \frac{285269,83 \text{ N}}{0,85 \cdot 0,75 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 12785,202 \text{ mm}^2$$

dipakai pelat landasan $200 \times 300 \text{ mm} = 60000 \text{ mm}^2$ (tebal 15mm)

g. Perencanaan Reinforced Concrete Bearing



Gambar 4. 37 Rencana tulangan pada balok Induk

Perencanaan penulangan ujung balok induk pada tugas akhir ini didasarkan pada buku PCI DESIGN HANDBOOK (7th Edition) section 6.9 yaitu tentang concrete brackets or cobel. Penulangan end bearing berdasarkan analisa geser friksi. Prosedur yang digunakan PCI adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan sudut retak vertikal $\Theta = 0^\circ$
2. Hitung tulangan horizontal
3. Sudut penanaman adalah 15° seperti yang disarankan pada referensi
4. Nilai $\mu = 1,4$ $\lambda = 1,4 \times 1 = 1,4$
5. Hitung tulangan sengkang

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}}$$

$$\text{Dimana } \mu_e = \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}$$

$$A_{cr} = I_d \cdot b$$

b = lebar balok

I_d = pjg penyaluran

f_{ys} = mutu baja sengkang

6. Nilai masimum V_n untuk beton cor monolit 1000. λ^2 . A_{cr} , $\mu = 1,4 \cdot \lambda$, $\mu_e \text{ max} = 3,4$

Perhitungan Tulangan horizontal (A_t)

$$\begin{aligned}
 A_t &= A_{vf} + A_n \\
 &= 254,56 \text{ mm}^2 + 71,27 \text{ mm}^2 \\
 &= 325,83 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai 4D 12 dengan $A_s = 452,39 \text{ mm}^2$

$$\text{Panjang } l_d = \left(\frac{400 \text{ Mpa} \cdot 1,3 \cdot 1}{2,1 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) = 795,25 \text{ mm} = 31,3 \text{ in}$$

Perhitungan sengkang Ash

$$A_{sh} = \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}}$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 \mu_e &= \frac{1000 \cdot \lambda \cdot A_{cr} \cdot \mu}{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y} \\
 &= \frac{1000 \cdot 1 \cdot 369,68 \cdot 1,4}{0,5 \cdot 58065} \\
 &= 17,6 > 3,4, \text{ maka dipakai } \mu_e = 3,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{vf} + A_n &= 254,56 \text{ mm}^2 + 71,27 \text{ mm}^2 \\
 &= 325,83 \text{ mm}^2 = 0,5 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{cr} &= l_d \cdot b \\
 &= 31,3 \text{ in} \cdot 11,8 \text{ in} = 369,68 \text{ in}^2
 \end{aligned}$$

$$b = 11,8 \text{ in}$$

$$\lambda = 1$$

$$\mu = 1,4$$

$$l_d = 31,3 \text{ in}$$

$$f_{ys} = 400 \text{ Mpa} = 58065 \text{ lb/in}^2$$

Jadi :

$$\begin{aligned}
 A_{sh} &= \frac{(A_{vf} + A_n) \cdot f_y}{\mu_e \cdot f_{ys}} \\
 &= \frac{0,5 \cdot 58065}{3,4 \cdot 58065} \\
 &= 0,247 \text{ in}^2 \\
 &= 159,723 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

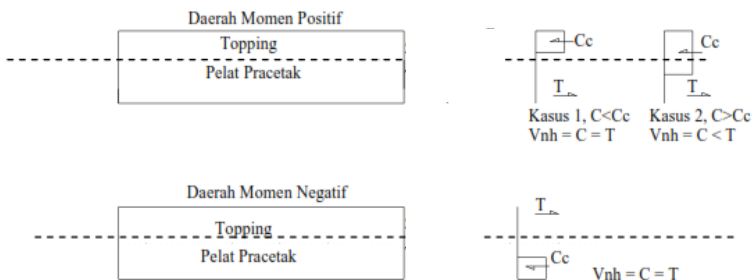
Dipasang tulangan 2 D 12 dengan $A_s = 196,195 \text{ mm}^2$

4.5.5.3 Sambungan Pelat- beton cor in situ

Pada perencanaan yang memakai elemen pracetak dan topping cor ditempat maka transfer gaya regangan horisontal yang terjadi harus dapat dipastikan mampu dipikul oleh seluruh penampang, baik oleh elemen pracetak maupun oleh topping cor ditempat. Untuk mengikat elemen pracetak dan elemen cor ditempat maka dipakai tulangan stud. Stud ini berfungsi sebagai sengkang pengikat antar elemen sehingga mampu mentransfer gaya-gaya dalam yang bekerja pada penampang tekan menjadi gaya geser horisontal yang bekerja pada permukaan pertemuan antara kedua elemen komposit dalam memikul beban. Dalam SNI disebutkan bahwa gaya geser horisontal bisa diperiksa dengan jalan menghitung perubahan aktual dari gaya tekan dan gaya tarik didalam sembarang segmen dan dengan menentukan bahwa gaya tersebut dipindahkan sebagai gaya geser horizontal elemen – elemen pendukung.

Gaya geser horizontal yang terjadi pada penampang komposit ada dua macam kasus :

- Kasus 1 : gaya tekan elemen komposit kurang dari gaya tekan elemen cor setempat
- Kasus 2 : gaya tekan elemen komposit lebih dari gaya tekan elemen cor setempat



Perhitungan stud pelat

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 f_c' A_{\text{topping}} \\
 &= 0,85 \times 35 \times 40 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\
 &= 1190000 \text{ N} = 1190 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Dipakai stud Ø8 mm

$$A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 50,2658 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 V_{nh} &= C = T \\
 &= A_s \times f_y \\
 &= 50,265 \times 240 = 12063,72 \text{ N} = 12,06 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 0,55A_c &= 0,55 \times b_v \times d \\
 &= 0,55 \times 1000 \times 85 \\
 &= 68750 \text{ N} = 68,75 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$V_{nh} < 0,55b_v.d \text{(OK)}$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 Pasal 17.5.3.1, Bila dipasang sengkang pengikat minimum sesuai dengan 17.6 dan bidang kontak nya bersih dan bebas dari serpihan tapi tidak dikasarkan, maka kuat geser V_{nh} tidak boleh diambil lebih dari $0,55b_v.d$ dalam Newton. Pasal 17.6.1 berbunyi bahwa bila pengikat sengkang dipasang untuk menyalurkan geser horisontal, luas pengikat sengkang tidak boleh kurang luas daripada luas yang diperlukan oleh 11.4.6.3, dan spasi pengikat tidak boleh melebihi empat kali dimensi terkecil elemen yang ditumpu, atau melebihi 600 mm.

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= 4 \times 40 \text{ mm} = 160 \text{ mm} \\
 S &\leq 600 \text{ mm} \\
 \text{maka, } S_{\text{pakai}} &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

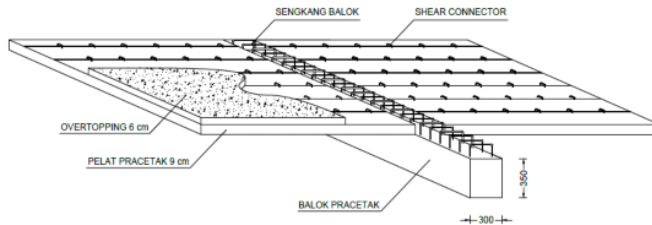
SNI 03-2847-2013 Pasal 11.4.6.3:

$$\begin{aligned}
 A_{v_{\min}} &= 0,062 \cdot \sqrt{f_c} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_y} \\
 &= 0,062 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{1000 \cdot 150}{240} = 199,248 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_v \geq (0,35bw.S)/f_y = (0,35 \times 1000 \times 150)/240 = 218,75 \text{ mm}^2$
 maka, $A_{v,\min} = 199,248 \text{ mm}^2$

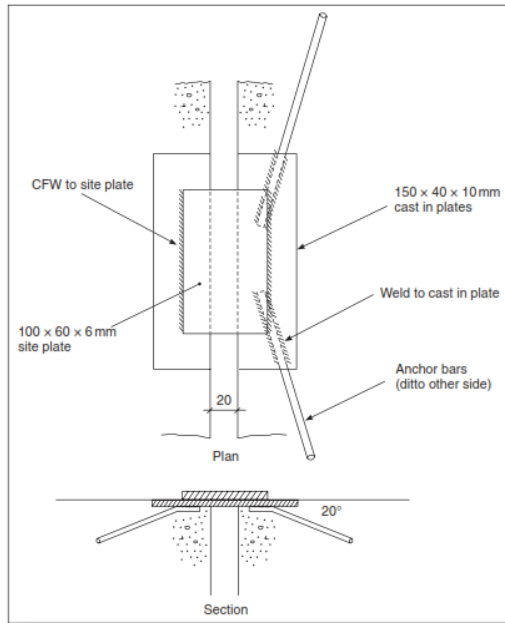
Dipakai tulangan Ø8 dengan $A_v = 50,265 \text{ mm}^2$

Maka dipasang stud (shear connector) Ø8-150 mm ($A_v = 335,103 \text{ mm}^2$).



4.5.5.4 Sambungan Pelat- Pelat

Pelat precast yang direncanakan merupakan pelat satu arah, sedangkan pelat saat komposit merupakan pelat dua arah. Oleh karena itu, perlu direncanakan sambungan untuk memikul momen dan geser yang terjadi. Sambungan direncanakan menggunakan mechanical shear device seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 38 Sambungan Pelat-Pelat

Diketahui momen lapangan Y yang terjadi pada saat kondisi komposit adalah = 1695000 Nmm, $V = 32287,5$ N

$t_{\text{pelat}} = 80$ mm

$B = 1000$ mm

$S = \frac{1}{6} \cdot B \cdot h^2$
 $= \frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot (80)^2$
 $= 106666 \text{ mm}^3$

Tegangan yang terjadi akibat momen = $\frac{M}{S} = 15,89$ Mpa

Tegangan yang terjadi akibat geser = $\frac{V}{I_w \text{ tot}} = 322,8$ Mpa

Tegangan total = $\sqrt{15,89^2 + 322,8^2} = 323,19$ Mpa

Berdasarkan buku Kim Elliot ada 3 kapasitas geser yang harus diperhatikan

1. Tahanan tarik dari pelat yang tertanam

$$V = n \cdot 0,95 \cdot A_s \cdot 0,5 \cdot f_y \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma$$

2. Kapasitas las dari tulangan yang tertanam

$$V = n \cdot p_w \cdot l_w \cdot t_w$$

3. Kapasitas geser dari pelat sambung

$$V = \frac{p_w \cdot l_w \cdot t_w}{1 + \frac{4e}{88}}$$

Direncanakan sambungan

$$t_w (\text{tebal las}) = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 100 \text{ mm}$$

$$p_w = 490 \text{ Mpa}$$

$$\text{diameter tul.} = 12 \text{ mm} (A_s = 113,09 \text{ mm}^2)$$

$$\text{sudut} = 20^\circ$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Ukuran pelat sambung} = 100 \times 60. 60 \text{ mm}$$

$$\text{Ukuran pelat yg ditanam} = 150 \times 40. 10 \text{ mm}$$

Kapasitas geser sambungan

$$\begin{aligned} V &= n \cdot 0,95 \cdot A_s \cdot 0,5 \cdot f_y \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \\ &= 2 \cdot 0,95 \cdot 113 \cdot 0,5 \cdot 400 \cdot \cos 20^\circ \cdot \cos 20^\circ \\ &= 37916,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= n \cdot p_w \cdot l_w \cdot t_w \\ &= 2 \cdot 490 \text{ Mpa} \cdot 100 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm} \\ &= 392000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V = \frac{p_w \cdot l_w \cdot t_w}{1 + \frac{4e}{88}}$$

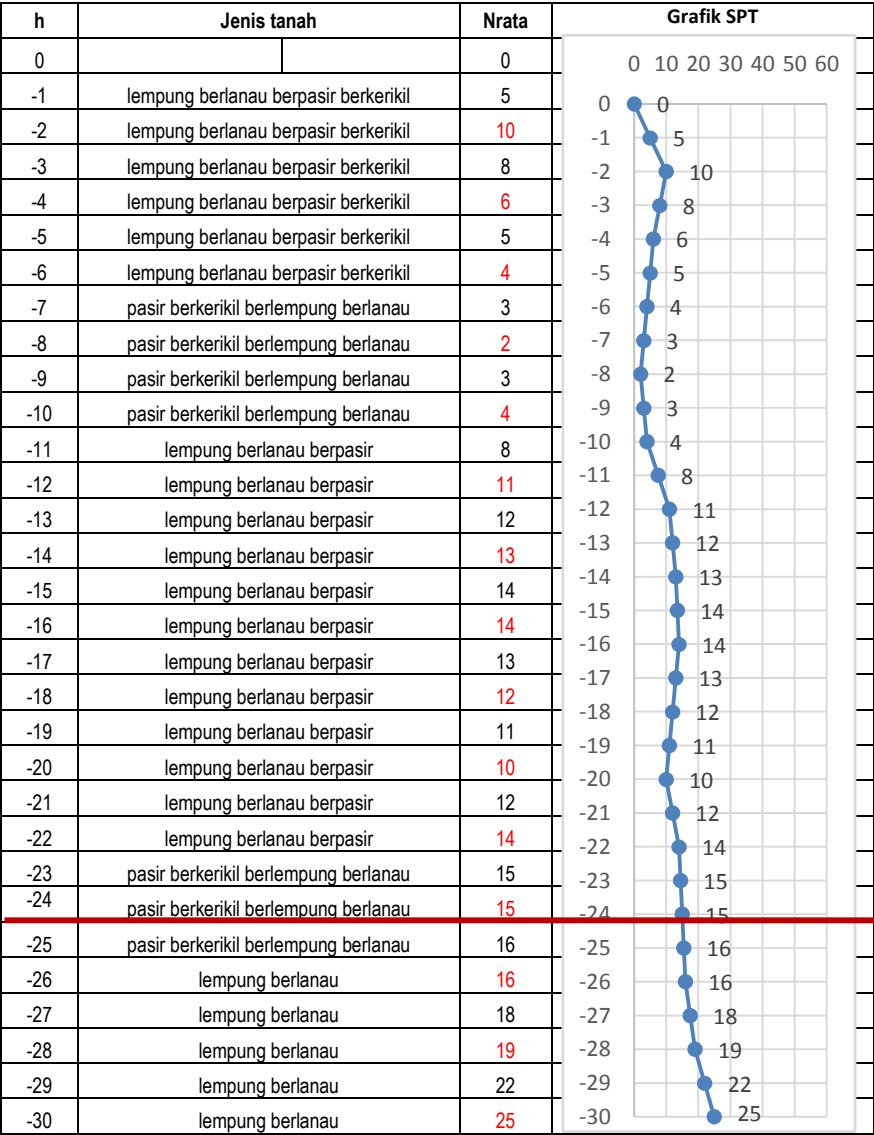
$$= \frac{490 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}}{1 + \frac{4.60}{88}}$$

$$= 525850 \text{ Mpa}$$

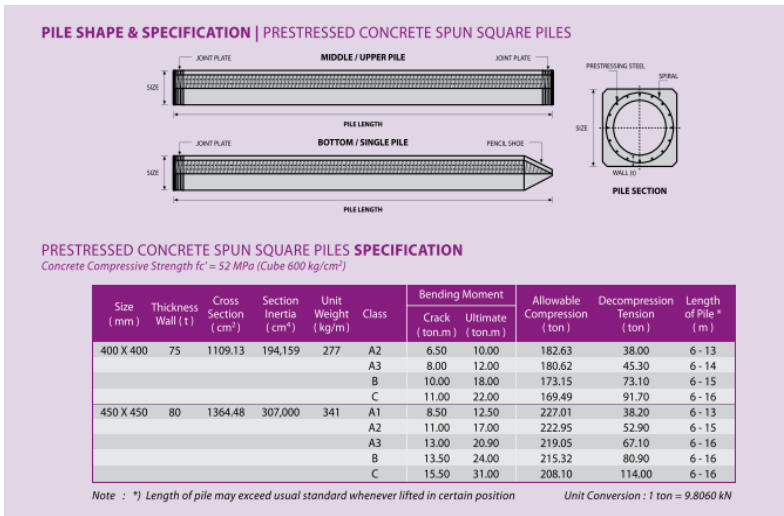
Kapasitas geser terkecil adalah = 37916,9 N

Tegangan = 379,16 Mpa > 323,19 Mpa
(memenuhi)

4.5.6 Perencanaan Pondasi



Perencanaan pondasi menggunakan tiang pancang dengan spesifikasi sebagai berikut:



Direncanakan:

- Kedalaman tiang pancang (h) = 24 m
- Ukuran tiang pancang = 0,4 m x 0,4 m
- Diameter lingkaran dalam = 0,25 m
- Keliling tiang pancang = $4 \times 0,4 \text{ m} = 1,6 \text{ m}$
- Luas tiang pancang (A_p) = $(0,4 \cdot 0,4 \text{ m}) - 1/4 \cdot \pi \cdot (0,25^2)$
= $0,111 \text{ m}^2$
- Luas selimut tiang (A_s) = keliling x h
= $1,6 \text{ m} \cdot 24 \text{ m}$
= $38,4 \text{ m}^2$
- Mutu beton = 52 Mpa
- Allowable compression = 182,63 ton
- Safety factor = 3

Menghitung daya dukung tanah :

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Dengan

$$\begin{aligned} Q_p &= 40. N. A_p \\ &= 40. 15. 0,111 \text{ m}^2 \\ &= 66,548 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s &= \frac{As \cdot N_{av}}{5} \\ &= \frac{38,4 \cdot 8,39}{5} \\ &= 64,44 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_u &= 66,548 \text{ ton} + 64,44 \text{ ton} \\ &= 131 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{ijin} &= \frac{Q_u}{S_f} \\ &= \frac{131 \text{ ton}}{3} \\ &= 43,664 \text{ ton} = 43664 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.5.6 Perhitungan Pondasi

Diketahui output SAP 2000 pada joint 2324

- Akibat beban tetap (1, D + 1, L)

$$P = 483611,97 \text{ kg}$$

- Akibat beban sementara (1D + 1L + 1Ex)

$$P = 510312,67 \text{ kg}$$

a. Perhitungan Kebutuhan Tiang pancang

Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri
poer

$$P_{max} = 122,68 \text{ Ton (dari kombinasi 1D+1L)}$$

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{510312,67 \text{ kg}}{43664 \text{ kg}} = 11,37 \approx 12$$

b. Perencanaan Dimensi Poer

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam menghitung jarak antar tiang pancang (S) menurut buku karangan Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck dalam bukunya Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2 menyebutkan bahwa :

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)

$$S \geq 2,5 D$$

$$S \geq 2,5 \times 40 \text{ cm}$$

$$S \geq 120 \text{ cm} \text{ Maka dipakai } S = 120 \text{ cm}$$

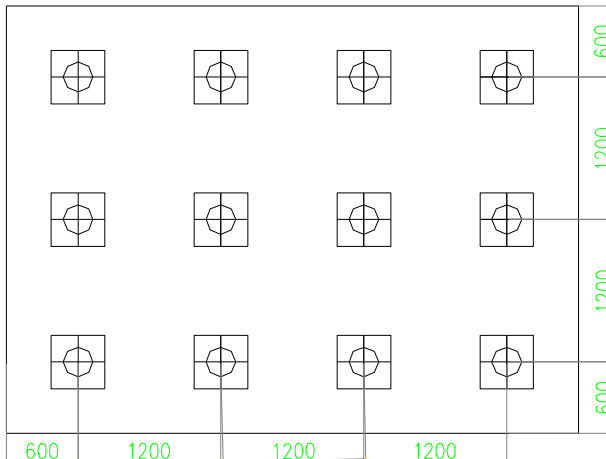
Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi poer (S')

$$S' = 1,5 D$$

$$S' = 1,5 \times 40 \text{ cm}$$

$$S' = 600 \text{ cm} \text{ Maka dipakai } S = 600 \text{ cm}$$

Dapat disimpulkan ukuran panjang poer, yaitu: panjang = 4,8 m , lebar = 3,6 m



b. Perhitungan Kebutuhan Tiang pancang

$$\begin{aligned}\text{Berat poer} &= A. t \text{ poer. BJ} \\ &= 4,8 \text{ m. } 3,6 \text{ m. } 1,5 \text{ m. } 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 17280 \text{ kg}\end{aligned}$$

Perhitungan jumlah tiang

Akibat beban tetap (1D+ 1L)

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{483611 + 17280}{43664} = 11,4 \approx 12$$

Akibat beban sementara (1D+1L+1E)

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{501312 + 17280}{43664} = 11,87 \approx 12$$

c. Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi

Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan tebal poer diasumsikan 1500 mm dan berat tanah di atas poer.

$$\begin{aligned}P_{max} &= \\ 501,312 \text{ ton} \\ \text{Berat poer (4,8m x 3,6 m x 1,5 m x 2,4 Ton/m}^3) &= 17,28 \text{ Ton} \\ \text{Berat tanah (4,8m x 3,6 m x 1,5 m x 2,4 Ton/m}^3) &= \frac{17,28 \text{ Ton} +}{535 \text{ ton}}\end{aligned}$$

$$n = \frac{P_{max}}{P_{ijin}} = \frac{535 \text{ ton}}{43,66} = 11,97 \approx 12$$

Setelah ditambahkan berat sendiri poer dengan dimensi (4800 mm x 3600 mm) dan tanah diatas poer tetap dibutuhkan tiang pancang sebanyak 12 buah

d. Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan efisiensi

Dari output program analisis struktur ditinjau joint 2234 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

$$Effisiensi = 1 - Arctag \frac{0,4 \left[(3 - 1)4 + (4 - 1)3 \right]}{1,2 \left[\frac{90 \times 4 \times 3}{3} \right]}$$

$$Effisiensi = 0,71$$

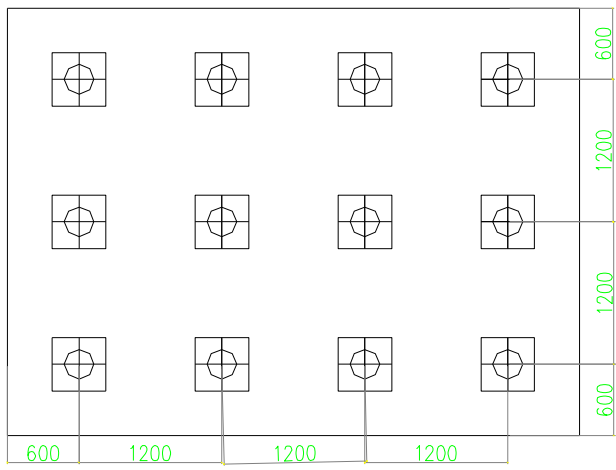
$$P_{ijin \text{ tanah}} = n \times P_{ijin}$$

Pijin tanah = 12. 0,71 x 44,665 ton
Pijin tanah = 371,92

d. Perhitungan daya dukung tiang dalam kelompok
Dari output program analisis struktur ditinjau joint 2234 dan didapatkan gaya dalam sebagai berikut :

Akibat beban tetap (D+L)

P = 117,43 Ton
My = -4,799 Ton-m
Mx = 7,567 Ton-m



Tabel perhitungan jarak X dan Y

	x	x ²	y	y ²
1	0.6	0.36	0	0
2	-0.6	0.36	0	0
3	1.8	3.24	1.2	1.44
4	-1.8	3.24	-1.2	1.44
5	0.6	0.36	0	0
6	-0.6	0.36	0	0
7	1.8	3.24	1.2	1.44

8	-1.8	3.24	-1.2	1.44
9	0.6	0.36	0	0
10	-0.6	0.36	0	0
11	1.8	3.24	1.2	1.44
12	-1.8	3.24	-1.2	1.44
13	0.6	0.36	0	0
14	-0.6	0.36	0	0
15	1.8	3.24	1.2	1.44
16	-1.8	3.24	-1.2	1.44
		144028.8		11.52

Gaya yang dipikul masing masing tiang pancang

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{Mx Y}{\Sigma y^2} \pm \frac{My X}{\Sigma x^2}$$

$$P1 = \frac{117,43}{2} + \frac{-7,576 \times 0,4}{0,32} = 59,788 \text{ Ton}$$

$$P1 = \frac{117,43}{2} + \frac{-7,576 \times 0,4}{0,32} = 59,788 \text{ Ton}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah
 $P = 59,788 \text{ Ton}$

Syarat :

$P_{\max} (1 \text{ Tiang}) < P_{\text{ijin tanaah}} \times n$

$69,419 \text{ Ton} < 58,738 \text{ ton}$ (Tidak Memenuhi)

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) tabel 1.1, untuk tanah keras daya dukung pondasi yang diijinkan dinaikan 50%.

$P_{\max} (1 \text{ Tiang}) < P_{\text{ijin tanaah}} \times n \times 1,5$

$59,788 \text{ Ton} < 70,109 \text{ ton}$ (Memenuhi)

e. Perencanaan Tulangan Lentur Pile Cap (Poer)

Pada perencanaan tulangan lentur, poer diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap.

Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, dikarenakan P beban sementara lebih besar daripada P beban tetap.

Data Perencanaan

Dimensi poer = 4,8 m x 3,6 m x 1,5 m

Jumlah tiang pancang = 12 buah

Dimensi kolom = 50 cm x 50 cm

Mutu beton (f_c') = 35 MPa

Mutu baja (fy) = 400 Mpa

Diameter tulangan utama= 22 mm

Selimut beton (p) = 75 mm

$$h = 1500 \text{ mm}$$
$$dx = 1500 - 75 - (1/2 \times 22) = 1414 \text{ mm}$$
$$\text{dy} = 1500 - 75 - 22 - (1/2 \times 22) = 1392 \text{ mm}$$
$$\varphi = 0,8$$

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

Poer arah X :

$b_1 = 600 \text{ mm}$ (jarak tepi poer ke as tiang pancang)

Peoer arah Y :

$b_1 = 600 \text{ mm}$ (jarak tepi poer ke as tiang pancang)

Penulangan Poer Arah X

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{816000}{0.9 \times 900 \times 640,5^2} = 0.0024 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 0.0024}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000006$$

ρ_{\min} , ρ_{perlu} dan ρ_{\max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,000006 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,000006 = 0,0000078$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0000078 \times 900 \text{ mm} \times 640,5 \text{ mm} \\ &= 4,496 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$\begin{aligned} A_{s_{\min}} &= \frac{1,4 \times b \times d}{f_y} \\ A_{s_{\min}} &= \frac{1,4 \times 900 \times 640,5}{400} \end{aligned}$$

$$A_{s_{\min}} = 2017,575 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{\min}}$

$$\text{maka } A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 700 \text{ mm} = 1400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 900}{2017,575}$$

$$S = 126,47 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai D19-100

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1400}{100}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 3969,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 3969,4 \text{ mm}^2 \geq 2017,575 \text{ mm}^2$$

Penulangan Poer Arah Y

$$\begin{aligned} q_u &= \text{berat poer} = 3,6 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m} \times b_1 \\ &= 2203,2 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_{\text{max}} \text{ beban tiang } P = 117,43 \text{ Ton}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= -(q_u \times \frac{1}{2} b_1) + P \times \text{jarak as tiang ke tepi kolom} \\ &= -(2203,2 \times (\frac{1}{2} \times 0,6)) + (117430 \times 0,15) \\ &= 16953,54 \text{ kgm} = 169535400 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{169535400 \text{ Nmm}}{0,9} = 188372666,7 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{188372666,7}{0,9 \times 1700 \times 621,5^2} = 0,318 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,20} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,20 \times 0.318}{400}} \right)\end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,0008$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0008 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,0008 = 0,0014$$

$$\begin{aligned}As_{perlu} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= 0,0014 \times 1700 \text{ mm} \times 621,5 \text{ mm} \\ &= 1101,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$\begin{aligned}As_{min} &= \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y} \\ As_{min} &= \frac{1,4 \times 1700 \times 621,5}{400}\end{aligned}$$

$$As_{min} = 3697,9 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari As_{min}

$$\text{maka } As_{perlu} = As_{min}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times 700 \text{ mm} = 1400 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 19 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{As_{perlu}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1700}{3697,9}$$

$$S = 130\text{mm} \quad S_{pakai} = 100\text{mm}$$

Tulangan Pakai D19-100

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times D^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times 19^2 \times 1700}{100}$$

$$As_{pasang} = 4819,9 \text{ mm}^2$$

$$As_{pasang} > As_{perlu} = 4819,9 \text{ mm}^2 \geq 3697,9 \text{ mm}^2$$

4.6 Metode Pelaksanaan

4.6.1 Penempatan Tower Crane

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan dan penempatan tower crane adalah:

1. Kemampuan maksimum crane yang digunakan

► Direncanakan 2 tower crane

► Spesifikasi

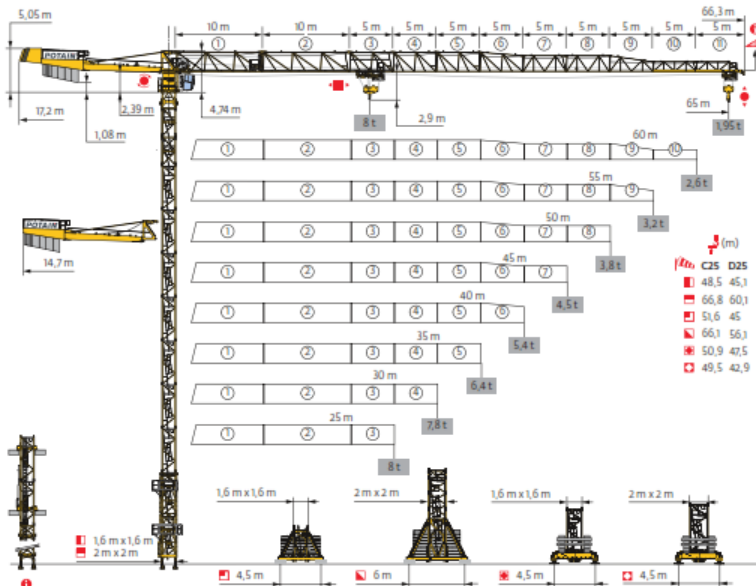
Jenis : POTAIN MDT 219 J8

Jangkauan maks : 65m

Kapasitas ujung : 1,9 ton

Jangkauan ijin : 50 m

Kapasitas : 3,8 ton



Kontrol kapasitas crane terhadap berat elemen pracetak

a) Balok

$$W = B \times H \times L \times BJ$$

Dimensi, berat dan panjang balok diberikan dalam tabel dibawah

Tabel 4. 19 Berat Balok Pracetak

NO	TIPE	DIMENSI (mm)	PANJANG (mm)	JUMLAH	BERAT (KG)
1	B1	400x480	6750	32	3110
2	B3	400x480	7350	16	3387
3	B4	400x480	5550	6	2557
4	B6	400x480	5250	8	2419
5	BA	300x380	6750	32	1847

b) Pelat

Dimensi, berat dan panjang pelat pracetak diberikan dalam tabel dibawah:

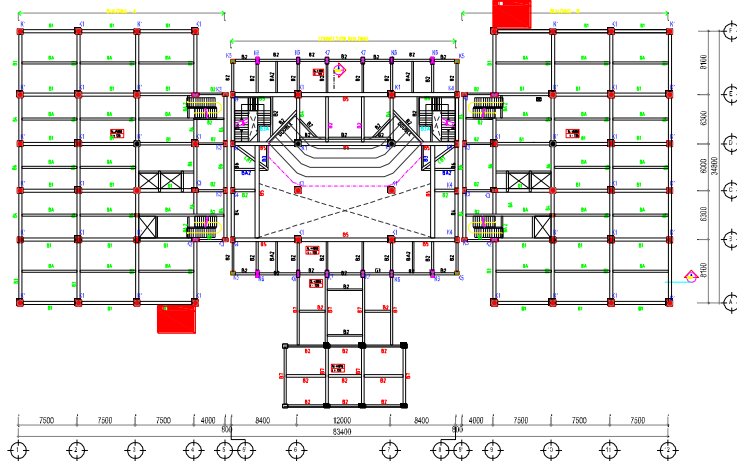
Tabel 4. 20 Berat Pelat Pracetak

NO	TIPE	Lx (mm)	Ly (mm)	Jumlah	Berat
1	P1	1420	3700	1080	1016
2	P2	1420	2900	1026	777
3	P3	1420	5400	180	1527

Berdasarkan tabel 4.14 dan 4.15, berat elemen pracetak masih lebih kecil dari kapasitas crane sebesar 3,9 ton.

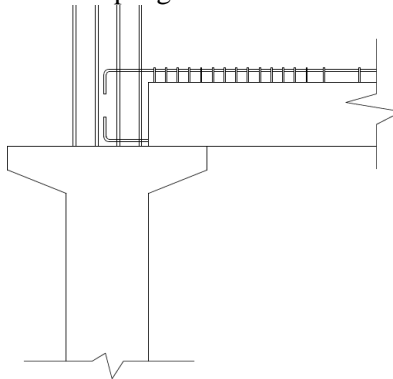
2. Penempatan tower crane

Sesuai spesifikasi bahwa jarak jangkauan tower crane adalah sebesar 50 m. Tower crane akan diletakkan di pada tanda merah. Dengan demikian jangkauan maksimum pada denah adalah 38,9 m.



4.6.2 Pemasangan Balok Induk

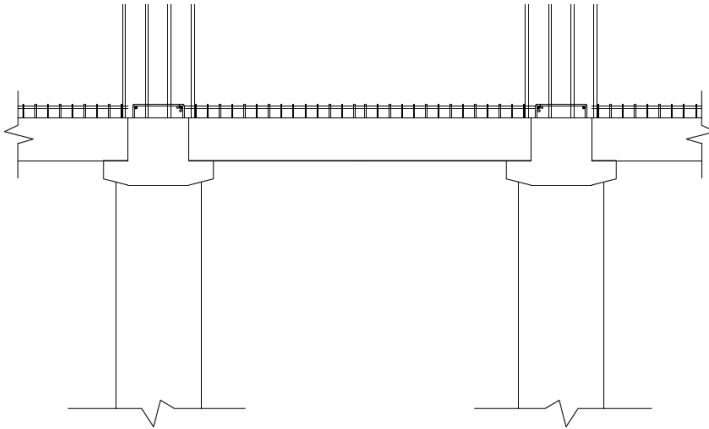
Pemasangan balok pracetak setelah pengecoran kolom. Balok induk dipasang terlebih dahulu di atas konsol kolom kemudian dilanjutkan dengan pemasangan balok anak. Lalu setelah itu baru dilakukan pengecoran.



Gambar 4. 39 Pemasangan Balok Induk Pracetak

4.6.3 Pemasangan Balok Anak

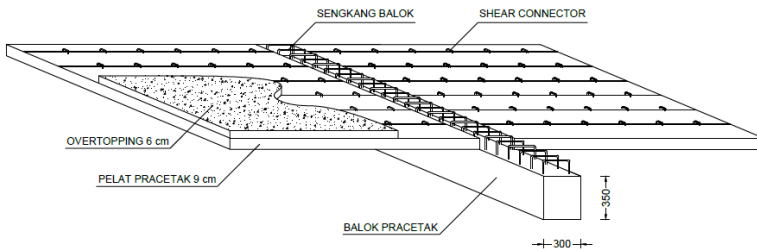
Pemasangan balok anak pracetak di bagian tengah balok induk. Konsol tempat bertumpunya balok anak pun terbuat dari beton pracetak yang terdapat pada balok induk. Setelah balok anak dan balok induk terpasang, maka dilanjutkan dengan pemasangan pelat dan kemudian dilakukan pengecoran *overtopping*.



Gambar 4. 40 Pemasangan Balok Anak Precetak

4.6.4 Pemasangan Pelat

Pemasangan pelat pracetak di atas balok induk dan balok anak sesuai dengan dimensi pelat yang sudah ditentukan. Kemudian dilakukan pemasangan tulangan bagian atas yaitu tulangan tumpuan untuk pelat.



Gambar 4. 41 Pemasangan Tulangan Atas Pelat

Setelah semua tulangan terpasang, kemudian dilakukan pengecoran pada bagian atas pelat, balok anak, dan balok induk yang berfungsi sebagai topping atau penutup bagian atas. Selain itu topping juga berfungsi untuk merekatkan komponen pelat, balok anak, dan balok induk agar menjadi satu kesatuan (komposit). Hal ini diperkuat dengan adanya tulangan panjang penyaluran pada masing – masing komponen pelat, balok anak, dan balok induk. Topping digunakan setinggi 4 cm. Untuk pekerjaan lantai berikutnya dilakukan sama dengan urutan pelaksanaan di atas sampai semua elemen pracetak terpasang.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan struktur yang dilakukan dalam penyusunan Tugas Akhir “Desain Struktur dan Metode Pelaksanaan Gedung Twin Tower Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya menggunakan Blok dan Pelat Pracetak” maka dapat ditarik beberapa poin kesimpulan diantaranya sebagai berikut :

1. Hasil Perhitungan

a. Struktur Sekunder

Pelat

Tebal pelat = 120 mm

Tipe	Lx m	Ly m	Ly/Lx	Kesimpulan				Tul. Susut
				Lap x	Lap y	Tump x	Tump y	
A	4.05	7.5	1.9	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
B	3.15	7.5	2.4	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
C	6	7.5	1.3	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
D	4	6	1.5	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
E	3.15	4	1.3	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
F	3.2	4.5	1.4	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
G	3.7	4.5	1.2	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200
H	4.2	6.3	1.5	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-200

- Tangga dan Bordes

Tebal Pelat = 15 cm

Type tangga	Tanjakan	Injakan	kemiringan	arah	Tul. Tangga	Tul. Bores
	cm	cm				
1	18	30	30.9	x	10-150	13-150
				y	10-151	13-150

Balok Anak

Balok	Dimensi	Tulangan Torsi	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
			Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
	cm		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
BA	40/60	2 D 13	5 D 19	3 D 19	3 D 19	2 D 19	Ø12-100	Ø12-200

b. Struktur Primer

Balok Induk

alok	Dimensi	Tulangan Torsi	Tulangan Lentur				Tulangan Geser	
			Tumpuan		Lapangan		Tumpuan	Lapangan
	cm		Tarik	Tekan	Tarik	Tekan		
B1	40/60	4 D 13	8 D 19	4 D 19	6 D 19	3 D 19	Ø12-100	Ø12-200
B2	40/60	4 D 13	4 D 19	2 D 19	2 D 19	2 D 19	Ø12-100	Ø12-200
B3	40/60	4 D 13	10 D 19	5 D 19	5 D 19	3 D 19	Ø12-100	Ø12-200
B4	40/60	4 D 13	8 D 19	4 D 19	6 D 19	3 D 19	Ø12-100	Ø12-200
B5	50/100	4 D 13	13 D 19	9 D 19	7 D 19	4 D 19	Ø12-100	Ø12-200
B6	40/60	4 D 13	6 D 19	3 D 19	6 D 19	3 D 19	Ø12-100	Ø12-200

Kolom

Kolom	Dimensi	Tulangan Lentur	Tulangan Geser
		Tumpuan	Tumpuan
	cm	Tarik	
K1	75/75	24 D 19	Ø13-100
K2	45/90	22 D 19	Ø13-100
K3	50/50	12 D 19	Ø13-150

c. Struktur Pondasi

Ukuran tiang pancang = 40 x 40 cm

Kedalaman = 24 m

Type	Tulangan Pile Cap	
	Arah X	Arah Y
1	D19-150	D19-150
2	D19-150	D19-150
3	D19-150	D19-150

2. Komponen pracetak disambung dengan menggunakan sambungan basah dan konsol pendek agar bangunan tersebut

menjadi bangunan pracetak yang monolit. Ukuran konsol pendek kolom adalah 400x400 mm dan konsol pendek balok induk 200x200.

3. Sambungan pracetak bersifat monolit antar elemennya dengan tulangan-tulangan dan shear connector yang muncul dari setiap elemen pracetak untuk menyatukan dengan elemen cor di tempat. Sambungan didesain sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

5.2 Saran

Bedasarkan analisa selama proses penyusunan tugas akhir ini, beberapa saran yang dapat penulis sampaikan adalah diantaranya :

1. Perlu pengawasan dengan baik pada saat pelaksanaan elemen beton pracetak terutama pada sambungan. Hal ini karena sambungan beton pracetak harus benar-benar monolit agar nantinya pada saat memikul beban tidak terjadi gaya-gaya tambahan yang tidak diinginkan pada daerah sambungan akibat dari kurang sempurnanya pengerjaan sambungan.

Beton pracetak masih perlu lagi pengembangan teknologinya agar lebih efisien serta lebih mudah dalam pengaplikasiannya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

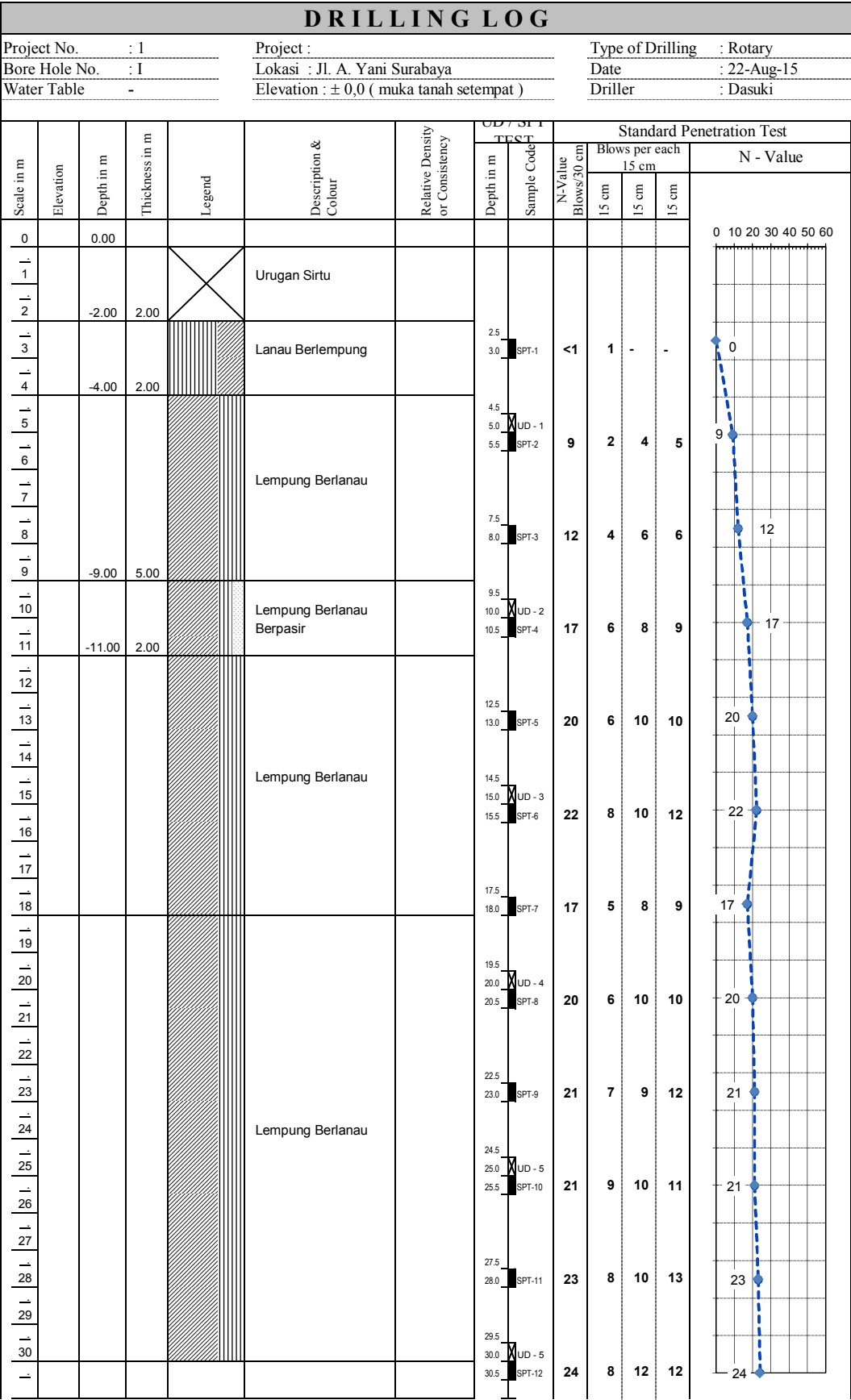
DAFTAR PUSTAKA

- Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan struktur Lain*, Badan Standarisasi Nasional , Jakarta, Indonesia, 2013
- Elliot. K.. S, *Precast Concrete Structure*, Great Britain: British Library, 2002.
- Imran, I., & Hendrik, F, *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung: ITB, 2014.
- PCI Design Handbook Precast and Presstressed Concrete*, 7th Edition, Precast and Presstressed Institute. USA, 2010.
- Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia, 2013.
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, Indonesia, 2012.
- Winter & Nilson, *Design of Concrete Structure*, 1979.
- Wulfram I. Ervianto, Ir. M.T. “Studi Implementasi Teknologi Beton Pracetak Bagi Bangunan Gedung”, pp 2-4, 2006.

BIODATA PENULIS



Kholif Novianti, dilahirkan di Tuban, 24 November 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Hidayah tahun 2001, SDN Kebonagung tahun 2007, SMPN 1 Rengel tahun 2010, dan SMAN 1 Bojonegoro tahun 2013. Setelah lulus dari SMAN 1 Bojonegoro, penulis mengikuti tes masuk Program Diploma Teknik Sipil ITS dan diterima di program studi Diploma III Teknik Sipil pada tahun 2013 dan lulus pada tahun 2016. Penulis lalu melanjutkan studi di Diploma 4 LJ Teknik Infrastruktur Sipil ITS dan terdaftar dengan NRP 3116040515. Penulis sempat aktif di Himpunan Mahasiswa Program Studi Diploma III Teknik Sipil sebagai staff Riset dan Teknologi pada periode 2014-2014. Penulis sempat mengikuti Kerja Praktek di PT. PRAMBANAN DWIPAKA pada Proyek Pembangunan Fakultas Psikologi Universitas Surabaya (UBAYA). Penulis dapat dihubungi melalui email kholifnovianti15@gmail.com





HUDSON
CIVIL PRODUCTS



Cold Mix Asphalt - 20kg bags

ROADFIX COLD ASPHALT is a deferred set, storage grade asphalt that is ideal for instant, high quality repairs to bituminous or concrete surfaces - and is **PERMANENT**.

Instant long-lasting repairs – no fuss, no mess, no worries!



KEY BENEFITS:

- No drying or cutting necessary
- No tack coat priming
- No over banding joint sealing
- No heavy compaction equipment required
- No trips to the hot-mix plant
- No wastage at the end of each day's tasks
- No heating required
- Reduced carbon footprint

HIGH PERFORMANCE COLD ASPHALT FOR PERMANENT REPAIRS



ROADFIX CA Patch - Note how the COLD ASPHALT joins to the edge of the pothole & no priming was required.

Why use ROADFIX CA?

Safe and easy to use

Roadfix CA is cold applied and safe to use. NO mixing is required.

Versatile

- Repairs potholes in asphalt surfaces.
- Reinstates trenches in trafficable surfaces.
- Quick and easy to use.
- Provides an efficient and economical solution to minor repairs and reinstatements to paved surfaces.

Long Lasting

Roadfix CA has a minimum storage life of two years - far longer than competitors!

Convenient

Roadfix CA is available in sealed 20kg bags and also 1 tonne bulk lots. Workability can be ensured even in cold weather just by manipulating the Roadfix CA in its sealed bag.

Accessories

Hudson Civil also stocks RPMs, road marker dots & thermal pads



Preparation

Clean the repair area of loose debris and dust, remove any excess water.

Application

Lightly work the Bag of ROADFIX ® before applying it to the work area. Level out the ROADFIX ® to the desired level a depth of 45mm will compact to 30mm.

Coverage

As a rule of thumb at a depth of 20-30mm it will cover an area of 0.6 Sq m.

6mm grade ROADFIX ® CA achieves 20-60mm wearing coat
10mm grade ROADFIX ® CA achieves 25-100mm wearing coat

Compaction

Where possible use a thumper or compactor; in an emergency you can use your vehicle tyres.

Storage/ Shelf life/ Special notes.

ROADFIX ® CA has a shelf life of up to two (2) years in all conditions, from extreme cold, heat to wet conditions. You will notice that the ROADFIX ® will form a type of hard skin in or out of the package, and this protects the main body of the product from degradation. This skin easily re-juvenates and mixes back in with a little agitation.

Precautions

Avoid excessive contact with Skin, use gloves. If the skin becomes contaminated, clean using approved petroleum based abrasive hand cleaner/gel. Any contact with the eyes, they should be irrigated with copious amounts of water and seek medical attention. For full details please refer to ROADFIX CA MSDS.



BROCHURE

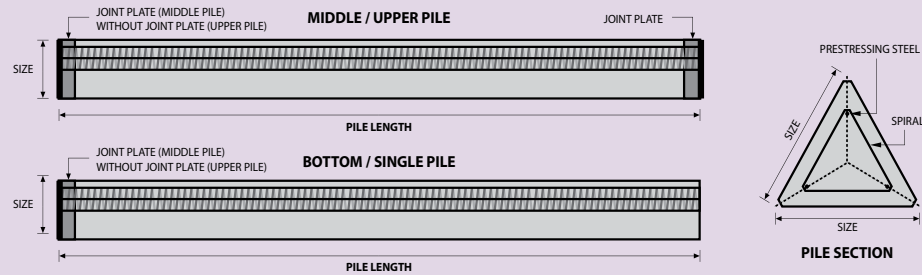
THE PRECAST CONCRETE MANUFACTURER



Innovation and Trust



PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES



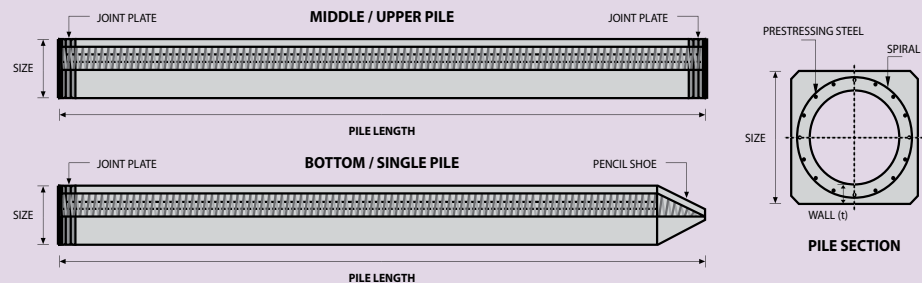
PRESTRESSED CONCRETE TRIANGULAR PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 42 \text{ MPa}$ (Cube 500 kg/cm^2)

Size (mm)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Length of Pile * (m)
					Crack (ton.m)	Ultimate (ton.m)		
280	318.7	9,080.50	79.7	A	0.66	0.92	42.26	6 - 8
				B	0.90	1.77	39.50	6 - 9
320	422.6	16,188.90	105.7	A	0.89	1.11	57.02	6 - 8
				B	1.20	2.15	54.10	6 - 9

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

PILE SHAPE & SPECIFICATION | PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES



PRESTRESSED CONCRETE SPUN SQUARE PILES SPECIFICATION

Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)

Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm ²)	Section Inertia (cm ⁴)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile * (m)
						Crack (ton.m)	Ultimate (ton.m)			
400 X 400	75	1109.13	194,159	277	A2	6.50	10.00	182.63	38.00	6 - 13
					A3	8.00	12.00	180.62	45.30	6 - 14
					B	10.00	18.00	173.15	73.10	6 - 15
					C	11.00	22.00	169.49	91.70	6 - 16
450 X 450	80	1364.48	307,000	341	A1	8.50	12.50	227.01	38.20	6 - 13
					A2	11.00	17.00	222.95	52.90	6 - 15
					A3	13.00	20.90	219.05	67.10	6 - 16
					B	13.50	24.00	215.32	80.90	6 - 16
					C	15.50	31.00	208.10	114.00	6 - 16

Note : *) Length of pile may exceed usual standard whenever lifted in certain position

Unit Conversion : 1 ton = 9.8060 kN

PRODUCT APPLICATION



Piles foundation for Power Plant or Industrial Factory



Piles for Marine Structure



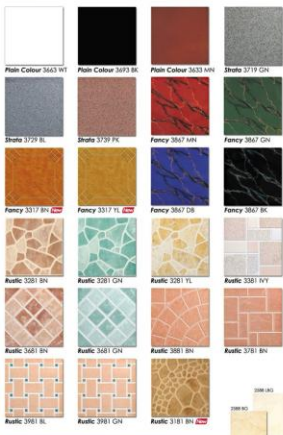
Piles Foundation for Building



Piles Foundation for Bridges



30 x 30



TECHNICAL DATA ARWANA Ceramic Tiles

DESCRIPTION	UNIT	FLOOR TILE ARWANA	ISO	UNIT	WALL TILE ARWANA	ISO
Size Tolerance	%	+/-0.5	+/-0.8	%	(-0.2; +0.82)	(-0.3; +0.8)
Thickness Tolerance	%	+/-4.0	+/-5.0	%	+/-4.0	+/-10
Rectangularity	%	+/-0.4	+/-0.8	%	+/-0.3	+/-0.3
Straightness of sides	%	+/-0.4	+/-0.5	%	+/-0.3	+/-0.3
Convulure	%	+/-0.5	+/-0.5	mm	(-0.2; +0.8)	(-0.2; +0.8)
a. Center Convulure	%	+/-0.5	+/-0.5	mm	(-0.2; +0.8)	(-0.2; +0.8)
b. Edge Convulure	%	+/-0.5	+/-0.5	mm	(-0.2; +0.8)	(-0.2; +0.8)
c. Warpige	%	+/-0.5	+/-0.5	mm	0.5	0.5
Modulus of Rupture	kg/cm ²	min 200	180	kg/cm ²	min 200	min 150
Water Absorption	%	8-9	8<=10	%	>10	>10
Cracking Resistance		Required	Required		Required	Required
		(5 bar)	(5 bar)		(5 bar)	(5 bar)

Arwana Ceramic tiles packing information

SIZE (cm)	QTY./BOX	MP/BOX	WT. KG/BOX
20cm x 20cm	25	1	13-14
20cm x 25cm	20	1	12
20cm x 30cm	11	1	14-15
40cm x 40cm	6	1	15.5-16.5



Contact us :

Head Office

PT. ARWANA CITRAMULLA TIRA
Sentra Niaga Puri Indah Blok T2 No. 24
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Jakarta 11610
Phn: +62 21 5830 2363
Fax: +62 21 5830 2361
E-mail: info@arwanacitra.com
Website: www.arwanacitra.com

Sole Distributor

PT. PRINAGRAHA KERAMINDO
Sentra Niaga Puri Indah Blok T3 No. 16-17
Kembangan Selatan, Jakarta 11610
Phn: +62 21 5835 8118
Fax: +62 21 5835 8008
E-mail: info@pgk.arwanacitra.com

Factories

PLANT I:
PT. ARWANA CITRAMULLA (ACM)
Jl. Raya Pasar Kemis
Tangerang 15133, Banten
Phn: +62 21 5903555 Fax: +62 21 5903461
Email: info@acm.arwanacitra.com

PLANT II:
PT. ARWANA NUANSA KERAMIK (ANK)
Jl. Raya Gorda, Desa Khen Km 6/9
Cikande - Serang, Banten
Phn: +62 254 400365-67 Fax: +62 254 400364
Email: info@ank.arwanacitra.com

PLANT III:
PT. SINAR KARYA DUTA ARADI (SKDA)
Jl. Waringin Anom, Raya Km. 33
Desa Waringin Anom, Ks. Gresik
Jawa Timur
Phn: +62 31 8982225-26 Fax: +62 31 8981679
Email: info@skda.arwanacitra.com



Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, L (mm) : 600
 Tinggi, H (mm) : 200 ; 400
 Tebal, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Berat jenis kering, (ρ) : 530 kg/m³
 Berat jenis normal, (ρ) : 600 kg/m³
 Kuat tekan, (σ) : ≥ 4.0 N/m²
 Konduktifitas termis, (λ) : 0.14 w/mk

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ²	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

Citicon Light Concrete Technical Specifications

Length, L (mm) : 600
 Height, H (mm) : 200 ; 400
 Thick, T (mm) : 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Dry Density, (ρ) : 530 kg/m³
 Field Density, (ρ) : 600 kg/m³
 Compressive Strength, (σ) : ≥ 4.0 N/m²
 Thermal Conductivity, (λ) : 0.14 w/mk

Thick	mm	75	100	125	150	175	200
Wall Area / m ²	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Contents / m ³	Block	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67



DINDING



◆ Plester D200

- Dipergunakan untuk pekerjaan plester dan pasangan bata.
- Ketebalan aplikasi 6-10 mm
- Memiliki daya rekat dan workability yang baik.
- Daya sebar/zak $\pm 2-2,5 \text{ m}^2/10\text{mm}$



40kg

Acian dinding dan plester



30kg

◆ Acian S100

- Warna abu-abu muda
- Cocok untuk expose interior
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak $\pm 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$



30kg

◆ Acian NP S450

- Warna cream
- Cat lebih hemat
- Dapat mengurangi terjadinya retak rambut
- Daya sebar/zak $\pm 10-12 \text{ m}^2/2\text{mm}$
- 5-7 hari bisa langsung di cat



Acian dinding plester dan beton



30kg

◆ SKIMCOAT S200

- Daya rekat tinggi untuk beton dengan permukaan licin
- Mengurangi retak
- Daya sebar/zak $9-12 \text{ m}^2/30 \text{ kg}$



20kg

◆ SKIMKOT PUTIH S500

- Acian putih untuk ekspos dak beton (bagian dalam)
- Mengurangi retak
- Tanpa plamir dan cat dasar
- Menghemat cat
- Daya sebar/zak $9-11 \text{ m}^2/20 \text{ kg}$



◆ Thinbed 101 TB101

- Perak bata ringan dengan ketebalan spesi antara 2 - 3 mm
- Memiliki daya rekat yang baik
- Daya sebar/zak $\pm 10-11 \text{ m}^2/3\text{mm}$ (40 kg) (ukuran blok $20 \times 60 \times 10 \text{ cm}$)
- Cepat dalam pengejaannya



40kg

Khusus Bata Ringan

◆ Plester Ringan 1.6 S150

Plester aci bata ringan dalam 1 aplikasi

- Plester aci bata ringan (one coat system) dengan ketebalan spesi antara 5 - 8 mm
- Plester lebih ringan
- Daya sebar/zak $\pm 4,5-6,5 \text{ m}^2/5-8\text{mm}$ (50 kg) (ukuran blok $20 \times 60 \times 10 \text{ cm}$)
- Lebih cepat dan hemat dalam pekerjaan



50kg

Produk lainnya

◆ Concrete Fill R200

Memperbaiki retak & celah beton

- Bahan perekat bonding dinding plester antara permukaan beton.
- Sebagai bahan pengisi keropos pada beton, celah pada panel, dll.
- Tebal aplikasi 3-15 mm

25kg
40kg



◆ Beton

Beton instan siap pakai

- Tersedia K 175, K 225, K300



50kg

◆ Bonding Agent L007

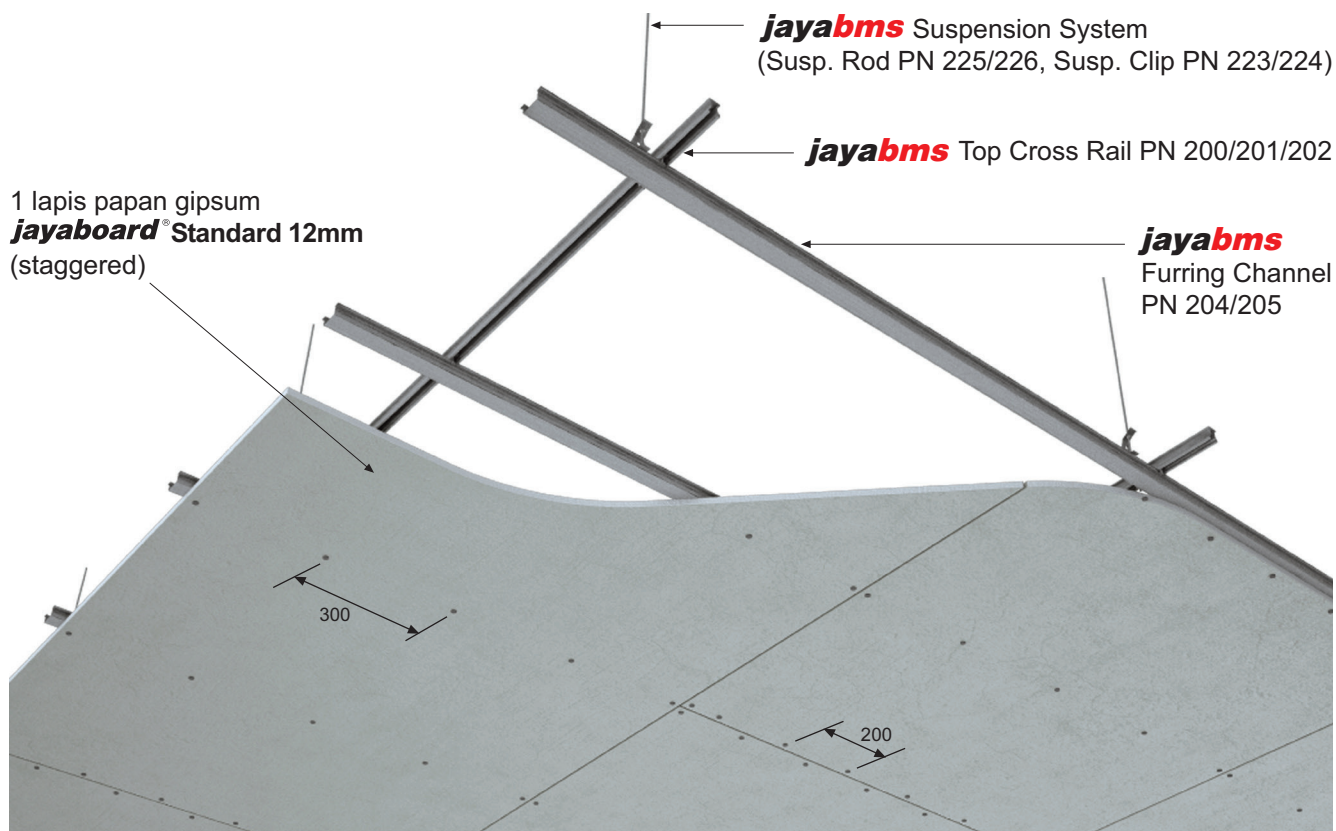
Bonding untuk beton dan mortar



1L

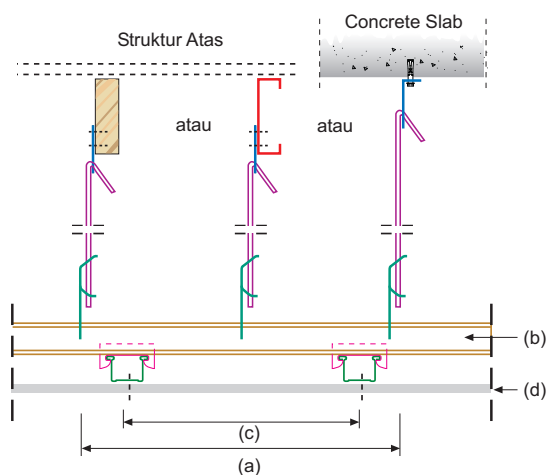
www.drymix.co.id

CS18_{fc} - Sistem Plafon Rangka Metal Standard Furring - Luas Ruang > 100 m²



DETAIL & DATA FISIK

1 lapis papan gipsum **jayaboard**® Standard 12mm diaplikasikan *suspended*.



BERAT SISTEM
8 Kg/m²

Papan Gypsum (d)	Material		Jarak Rangka (mm)
Jayaboard Standard 12mm	Suspension Clip PN 223/224	a	1200
	Top Cross Rail PN 200/201/202	b	1200
	Furring Channel PN 204/205	c	600
Jayaboard Standard 9mm	Furring Channel PN 204/205	c	400

Catatan :

- Pemasangan papan gipsum saling-silang
- Design Pressure 0 Pa, Deflection span/360
- Untuk area ruang dengan luas >100 m²
- Untuk detail produk, lihat brosur produk Jayaboard

BAB VI

REVISI

Konversi Tulangan Pelat ke Wiremesh

1. Sesudah Komposit

Keadaan ini terjadi apabila topping dan elemen pracetak pelat telah bekerja bersama-sama dalam memikul beban. Perletakan pelat dianggap sebagai perletakan terjepit penuh.

a. Data Perencanaan

Mutu Beton (f_c')	= 35Mpa
BJ tul.lentur (f_y)	= 400 Mpa
β	= 0,85
Tebal Pelat	= 120 mm
Tebal Selimut beton	= 20mm
Diameter Tulangan Lentur	= 10 mm
Diameter Tulangan Susut	= 10 mm
Bentang Pelat sb. Panjang	= 7500 mm
Bentang Pelat sb. pendek	= 4050 mm

b. Beban pada Pelat

Beban Mati

Berat sendri plat	= 288 kg/m ²
Keramik 2cm	= 16,5 kg/m ²
Spesi 3 cm	= 20 kg/m ²
Plafond+penggantung	= 8 kg/m ²
Pemipaan air bersih&kotor	= 25 kg/m ²
Instalasi listrik	= 40 kg/m ²
	<hr/>
	= 397,5 kg/m ²

Beban Hidup

Perkantoran	=240 kg/m ²
-------------	------------------------

c. Perhitungan Momen-Momen pelat lantai

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{7,5 \text{ m}}{4,05 \text{ m}} = 1,9$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(397,5 \text{ kg/m}^2) + 1,6(240 \text{ kg/m}^2) \\ &= 861 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lx} &= 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 40 \text{ m} \\ &= 564,9 \text{ Kgm} \\ &= 5649000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ly} &= 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 12 \text{ m} \\ &= 169,5 \text{ Kgm} \\ &= 1695000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{tx} &= 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 83 \text{ m} \\ &= 1172,2 \text{ Kgm} \\ &= 11719000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ty} &= 0,001 \times q_u \times L_x^2 \times X \\ &= 0,001 \times 861 \text{ kg/m}^2 \times (4\text{m})^2 \times 57 \text{ m} \\ &= 805 \text{ Kgm} \\ &= 8050000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

$$\begin{aligned}d_x &= h - t.\text{selimut} - 0,5\varnothing \\&= 120 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) \\&= 95 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d_y &= h - t.\text{selimut} - 0,5 \varnothing - \varnothing \\&= 120 - 20 - \left(\frac{1}{2} \times 10\right) - 10 \\&= 85 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f'_c}{f_y} \times \frac{600}{(600 + f_y)} \\&= \frac{0,85 \times 0,85 \times 35}{400} \times \frac{600}{(600 + 400)}\end{aligned}$$

$$= 0,0379$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,0379 = 0,028$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f'_c} = \frac{400}{0,85 \times 35} = 13,44$$

Penulangan Lapangan

Arah X

$$M_{lx} = 5649000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{5649000 \text{ Nmm}}{0,9} = 6277790 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{6277790}{0,9 \times 1000 \times 95^2} = 0,695$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 0.695}{400}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,002$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,002 < 0,028 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,002 = 0,0026$$

$$As_{perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$= 0,0026 \times 1000\text{mm} \times 95\text{mm}$$

$$= 217,299 \text{ mm}^2$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$As_{min} = \frac{1,4 \times bw \times d}{fy}$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{400}$$

$$As_{min} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari As_{min}

$$\text{maka } As_{perlu} = As_{min}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{max} = 2h$$

$$S_{max} = 2 \times \text{mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{332,5}$$

$$S = 236,2 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 392,7 \text{ mm}^2 \geq 332,5 \text{ mm}^2$$

Karena pada perhitungan pracetak tulangan arah X diperlukan Ø10-100, maka tulangan tumpuan X dipasang Ø10-100

- **Arah Y**

$$M_{ly} = 1695000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{1695000 \text{ Nmm}}{0,9} = 1883007 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{1883007}{0,9 \times 1000 \times 85^2} = 0.261$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 0.261}{400}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0007$$

ρ_{\min} , ρ_{perlu} dan ρ_{\max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0007 < 0,0248 \text{ (tidak oke)}$$

$\rho_{\min} > \rho_{\text{perlu}}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,0007 = 0,001$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,001 \times 1000 \text{ mm} \times 85 \text{ mm} \\ &= 72,31 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 297,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{\min}}$

$$\text{maka } A_{s_{\text{perlu}}} = A_{s_{\min}}$$

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s \text{ perlu}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{297,5}$$

$$S = 263 \text{ mm} \rightarrow S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$A_{s \text{ pasang}} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ pasang}} > A_{s \text{ perlu}} = 392,7 \text{ mm}^2 > 297,5 \text{ mm}^2$$

Penulangan Tumpuan

- **Arah X**

$$M_{lx} = 11719000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{11719000 \text{ Nmm}}{0,9} = 13024131.75 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{13024131.75}{0.9 \times 1000 \times 95^2} = 1,44$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 1,44}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,0069$$

ρ_{\min} , ρ_{perlu} dan ρ_{\max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0069 < 0,0248 \text{ (oke)}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\ &= 0,0069 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 585,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times b w \times d}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{400}$$

$$A_{s_{\min}} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 A_s yang tersedia tidak boleh kurang dari $A_{s_{\min}}$ (memenuhi)

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_{s_{\text{perlu}}}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{585,34}$$

$$S = 134 \text{ mm} \quad S \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-100

$$A_{s_{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$A_{s_{pasang}} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{100}$$

$$A_{s_{pasang}} = 785 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{pasang}} > A_{s_{perlu}} = 785 \text{ mm}^2 \geq 585,34 \text{ mm}^2$$

Karena pada perhitungan pracetak tulangan arah X diperlukan Ø10-100, maka tulangan tumpuan X dipasang Ø10-100

- **Arah Y**

$$M_{ly} = 8050000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{8050000 \text{ Nmm}}{0,9} = 8944283,25 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{\phi \times b \times d^2} = \frac{8944283,25}{0,9 \times 1000 \times 85^2} = 1,24$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{13,44} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,44 \times 1,24}{400}} \right) \end{aligned}$$

$$\rho_{perlu} = 0,003$$

ρ_{min} , ρ_{perlu} dan ρ_{max} harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\rho_{min} < \rho_{perlu} < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,003 < 0,024 \quad (\text{tidak oke})$$

$\rho_{min} > \rho_{perlu}$ maka ρ_{perlu} perlu dinaikkan 30%

$$1,3 \times \rho_{perlu} = 1,3 \times 0,003 = 0,0041$$

$$\begin{aligned} As_{perlu} &= \rho_{perlu} \times b \times d \\ &= 0,0041 \times 1000\text{mm} \times 85\text{mm} \\ &= 349,42 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek tulangan minimum pada komponen struktur lentur

$$\begin{aligned} As_{\min} &= \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y} \\ As_{\min} &= \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{400} \end{aligned}$$

$$As_{\min} = 332,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847 2013 pasal 10.5.1 As yang tersedia tidak boleh kurang dari As_{\min}

$As_{perlu} > As_{\min}$ Maka menggunakan As_{perlu}

Batas spasi tulangan

$$S_{\max} = 2h$$

$$S_{\max} = 2 \times 120 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan diameter 10 mm

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{As_{perlu}}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{349,415}$$

$$S = 194\text{mm} \quad S \text{ pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan Pakai Ø10-200

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}}$$

$$As_{pasang} = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{200}$$

$$As_{pasang} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$As_{pasang} > As_{perlu} = 392,7 \text{ mm}^2 > 349,41 \text{ mm}$$

Penulangan Susut

- Arah X dan Y

Luasan tulangan susut dan suhu harus menyediakan paling sedikit memiliki rasio luas tulangan terhadap luas bruto penampang beton tidak boleh kurang dari $\rho_{perlu} = 0,0018$

$$\begin{aligned} As_{susut} &= \rho_{susut} \times b \times d \\ &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Batas spasi tulangan susut

$$S \leq 5h \text{ atau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

Dipakai Tulangan Ø10

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{As}$$

$$S = \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{216}$$

$$S = 363 \text{ mm} \quad S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

Cek Batas Spasi Tulangan

$$S_{\max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

$$200 \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

$$200 \leq 450 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$

Cek luasan Tulangan Ø10-200

$$\begin{array}{ccc} \text{As perlu} & < & \text{As ada} \\ 216 \text{ mm}^2 & < & 392,7 \text{ mm}^2 \text{ (Memenuhi)} \end{array}$$

Lebar Lajur pemasangan tulangan susut :

$$\text{Ke arah bentang panjang} = 0,19 \times 7,5 \text{ m} = 1,425 \text{ m}$$

$$\text{Ke arah bentang pendek} = 0,19 \times 4,05 \text{ m} = 0,8 \text{ m}$$

Tulangan Pelat Konvensional

Ø 10- 100

$$\text{Mutu tulangan} = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu tulangan wiremesh} = 500 \text{ Mpa}$$

Perhitungan konversi tulangan ke wiremesh

Tul. Ø 10- 100

$$\begin{aligned} \text{As per m} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{100} \\ &= 785 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas wiremesh yang dibutuhkan} &= \text{As} \cdot \frac{f_y \text{ tulangan}}{f_y \text{ wiremesh}} \\ &= 785 \cdot \frac{400 \text{ Mpa}}{500 \text{ Mpa}} \\ &= 628 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Spesifikasi Wiremesh

Wiremesh M11-150

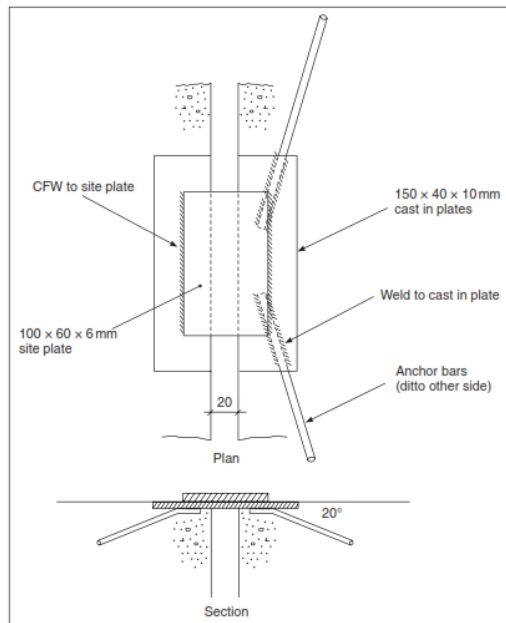
$$\begin{aligned} \text{As} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \times \pi \times 11^2 \times 1000}{150} \\ &= 633 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As perlu} > \text{As pasang}$$

$$628 \text{ mm}^2 > 633 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

4.5.5.4 Sambungan Pelat- Pelat

Pelat precast yang direncanakan merupakan pelat satu arah, sedangkan pelat saat komposit merupakan pelat dua arah. Oleh karena itu, perlu direncanakan sambungan untuk memikul momen dan geser. Sambungan direncanakan menggunakan mechanical shear device seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 1 Sambungan Pelat-Pelat

Diketahui momen yang terjadi pada saat menerima beban gempa adalah

OutputCase	F11	F22	M11	M22
Text	Kgf/m	Kgf/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m
1,2 D+1L + 1 EX	-433.24	68.45	1327.29	12096.72
1,2 D+1L + 1 EY	566.15	411.51	1738.03	12223.5
0,9 D+ 1EX	-755.1	379.25	2955.76	6005.9
0,9 D+ 1EY	244.3	722.32	3366.49	6132.68

$$M_{\max} = 12223,5 \text{ kgm} = 122235000 \text{ Nmm}$$

$$V = 566,15 \text{ kg} = 5661,5 \text{ N}$$

$$t_{\text{pelat}} = 80 \text{ mm}$$

$$B = 1000 \text{ mm}$$

$$S = \frac{1}{6} \cdot B \cdot h^2$$

$$= \frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot (80)^2$$

$$= 1066666 \text{ mm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan yang terjadi akibat momen} &= \frac{M}{S} \\ &= \frac{122235000 \text{ Nmm}}{1066666 \text{ mm}^3} \\ &= 114,5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan yang terjadi akibat geser} &= \frac{V}{lw_{\text{tot}}} \\ &= \frac{5661,5 \text{ N}}{100 \text{ mm}} \\ &= 56,615 \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan total} = \sqrt{114,5^2 + 56,615^2} = 121,76 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan buku Kim Elliot ada 3 kapasitas geser yang harus diperhatikan

1. Tahanan tarik dari pelat yang tertanam

$$V = n \cdot 0,95 \cdot A_s \cdot 0,5 \cdot f_y \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma$$

2. Kapasitas las dari tulangan yang tertanam

$$V = n \cdot p_w \cdot l_w \cdot t_w$$

3. Kapasitas geser dari pelat sambung

$$V = \frac{p_w \cdot l_w \cdot t_w}{1 + \frac{4e}{88}}$$

Direncanakan sambungan

$$\begin{aligned} t_w (\text{tebal las}) &= 4 \text{ mm} \\ l_w &= 100 \text{ mm} \\ p_w &= 490 \text{ Mpa} \\ \text{diameter tul.} &= 12 \text{ mm} \quad (A_s = 113,09 \text{ mm}^2) \\ \text{sudut} &= 20^\circ \\ f_y &= 400 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ukuran pelat sambung} &= 100 \times 6 - 6 \text{ mm} \\ \text{Ukuran pelat yg ditanam} &= 150 \times 40 - 10 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kapasitas geser sambungan

$$\begin{aligned} V &= n \cdot 0,95 \cdot A_s \cdot 0,5 \cdot f_y \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \\ &= 2 \cdot 0,95 \cdot 113 \cdot 0,5 \cdot 400 \cdot \cos 20^\circ \cdot \cos 20^\circ \\ &= 37916,9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= n \cdot p_w \cdot l_w \cdot t_w \\ &= 2 \cdot 490 \text{ Mpa} \cdot 100 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm} \\ &= 392000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{p_w \cdot l_w \cdot t_w}{1 + \frac{4e}{88}} \\ &= \frac{490 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}}{1 + \frac{4 \cdot 60}{88}} \\ &= 525850 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kapasitas geser terkecil adalah = 37916,9 N

$$\begin{aligned} \text{Tegangan} &= 379,16 \text{ Mpa} > 121,76 \text{ Mpa} \\ (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Panjang Penyaluran Tulangan Pelat

Panjang penyaluran harus disediakan cukup untuk tulangan pelat sebelum dan sesudah komposit. Panjang penyaluran didasarkan pada SNI 03-2847-2013 :

- $\ell_{dh} \geq 8 d_b = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}$
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)

- $\ell_{dh} \geq 150 \text{ mm}$
(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)

- $\ell_{dh} = (0,24f_y \sqrt{f_c}) / d_b$ (SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.2)
 $= (0,24 \times 400 \times \sqrt{35}) / 10 = 51,27 \text{ mm}$

Maka dipakai panjang penyaluran terbesar yaitu 150 mm.